

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 715**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/22** (2006.01)

**G01S 5/18** (2006.01)

**H04B 11/00** (2006.01)

**G01S 3/808** (2006.01)

**G01S 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2010 PCT/GB2010/000080**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.07.2010 WO10084308**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2010 E 10701256 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.11.2016 EP 2389598**

54 Título: **Sistema acústico de determinación de posición**

30 Prioridad:

**20.01.2009 GB 0900929**

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

**27.03.2017**

73 Titular/es:

**SONITOR TECHNOLOGIES AS (100.0%)**

**Drammensveien 288**

**0283 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

**BOOIJ, WILFRED, EDWIN y**

**OLSEN, OYSTEIN, HAUG**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 606 715 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 acústico de determinación de posición

5 La presente invención se refiere a un sistema de determinación de posición en interiores, en particular, aunque no necesariamente de forma exclusiva, usando ultrasonidos.

10 Hay muchas situaciones en las que es deseable ser capaz de determinar la ubicación de un objeto móvil, tal como un artículo de equipo o una persona, dentro de un área dada. Se conoce la provisión de una localización a nivel de habitación usando transmisores ultrasónicos, o etiquetas, que están acoplados a los objetos o personas que se van a localizar; y un receptor ultrasónico adecuado que está ubicado en cada habitación, que puede establecer la presencia o la ausencia de una etiqueta dada. Esto puede ser útil para el inventario de existencias o para localizar personal pero no es lo bastante preciso para algunas aplicaciones.

15 También se ha propuesto el uso de un conjunto de receptores ultrasónicos que están distribuidos en torno a una zona de supervisión para determinar la posición de una etiqueta dentro de la zona usando trilateración - es decir, usando el tiempo que tarda la señal a partir de la etiqueta en alcanzar diferentes receptores. No obstante, esto no sería muy práctico para una instalación grande debido a que habría un alto coste de equipo asociado, con una gran cantidad de receptores separados. Además, el coste de instalación también sería alto (por ejemplo, puede ser necesario disponer el cableado para la alimentación y la comunicación por separado en cada unidad), y el resultado final puede ser antiestético si esta se adapta retroactivamente debido a la necesidad de tener múltiples unidades dentro de cada habitación.

20 Otro problema con la implementación de esta idea en la práctica es que, en los entornos reales, hay muchas superficies, por ejemplo, las paredes de una habitación, a partir de las cuales se pueden reflejar, antes de recibirse, las señales de la etiqueta. Estas pueden tener la tendencia a ocultar las señales de interés y su eliminación requiere un procesamiento complejo.

25 Por ejemplo, en el documento "A New Location Technique for the Active Office", *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, n.º 5, octubre de 1997, págs. 42 - 47, se describen un enfoque geométrico y uno estadístico para identificar y eliminar mediciones de distancia poco precisas debido a las reflexiones. Los problemas causados por las reflexiones se pueden mitigar mediante el aumento del número de receptores, pero esto simplemente aumenta adicionalmente el coste.

30 Se ha propuesto, en el documento WO 2006/013512, el uso de una única estación de base para determinar la ubicación de una etiqueta usando la señal de línea de visión procedente de la etiqueta así como las señales reflejadas causadas por las reflexiones a partir de las paredes, el techo, el suelo y otra superficie posible en una habitación mediante el uso de un método de coincidencia de firma. Una firma de serie temporal de la señal y sus reflexiones recibidas por la estación de base se pone en coincidencia con las firmas o plantillas de modelo almacenadas. Un enfoque de este tipo tiene un número de inconvenientes: en particular, este proporciona una pobre precisión de determinación de posición debido a que los algoritmos de coincidencia de firma no pueden tener un buen desempeño en entornos ruidosos (tal como cuando se solapan múltiples señales recibidas, o sus ecos, en el tiempo); además, la precisión del método está limitada al número de firmas o plantillas de modelo candidatas, el cual está, por lo general, restringido por el tiempo, el espacio en memoria y la potencia de procesamiento disponible.

35 El documento WO 2005/088339 describe otro método para determinar la posición de una unidad móvil, que tiene los rasgos distintivos de la parte precharacterizadora de la reivindicación 1.

40 Cuando se ve desde un aspecto, la presente invención proporciona un método según la reivindicación 1.

45 La invención también se extiende a un sistema de determinación de posición según la reivindicación 3, y a un receptor según la reivindicación 15.

50 Preferiblemente, el sistema de determinación de posición comprende adicionalmente unos medios de almacenamiento y/o medios de visualización y/o medios de comunicación electrónica, y está dispuesto para almacenar y/o visualizar y/o comunicar por medios electrónicos dicha posición determinada de la unidad móvil.

55 La primera trayectoria puede ser una trayectoria indirecta, es decir, la señal acústica a lo largo de la primera trayectoria se refleja a partir de una superficie. En un caso de este tipo, solo se usan ecos para el cálculo. No obstante, en unas realizaciones preferidas, la primera trayectoria es una trayectoria directa, por lo tanto la señal acústica que se recibe a lo largo de la primera trayectoria es una señal acústica directa. En algunas realizaciones, se usa la señal acústica directa cuando se encuentra disponible la misma (por ejemplo, cuando hay una línea de visión sin obstrucciones entre la unidad móvil y el receptor), pero se usa una trayectoria indirecta cuando no existe trayectoria directa alguna (por ejemplo, debido a la presencia de una obstrucción).

60

Por lo tanto, será apreciado por los expertos en la materia que, de acuerdo con la presente invención, en lugar de buscar la cancelación, con respecto a la señal recibida, de toda la información en relación con el sonido a partir de la unidad móvil que se ha reflejado a partir de superficies cercanas, o de intentar realizar una operación de puesta en coincidencia de patrones, el tiempo de recepción de una o más reflexiones se calcula de forma individual y se usa para determinar la posición de la unidad móvil. El uso intencionado de una información adicional en relación con la temporización de las reflexiones puede aumentar la precisión de la determinación de posición, o reducir el número mínimo de receptores que se requieren para determinar sin ambigüedades la posición de la unidad móvil, en comparación con un enfoque que descarta ecos. Esto hace más sencillo proporcionar una precisión mejor que la de un enfoque de coincidencia de firma. El conocimiento de las características de eco que se usan en la determinación de posición también se puede usar para aumentar la tasa a la que se pueden actualizar las estimaciones de posición de los datos de unidad móvil, y se puede usar adicionalmente para aumentar la tasa a la que se pueden transmitir los datos (por ejemplo, un código de identidad de etiqueta) entre la unidad móvil y el receptor.

Los tiempos de llegada de la primera señal (a la que se hace referencia por comodidad, en lo sucesivo en el presente documento, como señal directa, pero haciendo notar que los rasgos distintivos que se describen con referencia a la señal directa se deberían entender, siempre que sea apropiado, como que son aplicables por igual a una primera señal indirecta), y/o del eco o ecos, se pueden determinar de una diversidad de formas como tiempos absolutos (por ejemplo, definidos mediante un reloj interno de sistema o una señal a partir de un reloj externo), por ejemplo, usando un reloj que está integrado en el receptor. Como alternativa, se podrían usar unas temporizaciones relativas. Por ejemplo, los tiempos pueden ser en relación con la llegada de la señal acústica directa en el receptor; es decir, este primer evento de llegada define un 'tiempo cero', punto de referencia contra el cual se determinan el tiempo o tiempos del eco o ecos, que llegan más tarde.

Se podría usar, en teoría, cualquier superficie en la zona de supervisión para la reflexión pero, preferiblemente, la superficie es una superficie estática y, preferiblemente, es sustancialmente plana. En tales realizaciones, la superficie reflectante actúa, en efecto, como un 'espejo sónico'. El solicitante ha apreciado que, mediante un procesamiento adecuado de la señal recibida, esta se puede tratar igual que si hubiera un segundo receptor virtual a la misma distancia en el otro lado de la superficie. Por supuesto, mediante el uso de múltiples superficies reflectantes, surgen múltiples receptores virtuales de este tipo. En algunas realizaciones, por lo tanto, se recibe una pluralidad de ecos en el receptor y los tiempos de llegada de cada eco se determinan y se usan para determinar la posición de la unidad móvil dentro de la zona de detección.

En algunas realizaciones, la intensidad de señal de un eco, por ejemplo, en comparación con la señal de trayectoria directa u otro eco, se usa en la determinación de posición, por ejemplo, al dar una estimación de la distancia que se recorre. En el presente caso, de forma ventajosa, se puede usar el conocimiento de la atenuación esférica y disipativa de los ultrasonidos en el aire e incluso el conocimiento de las características de reflexión de las superficies principales.

El receptor o receptores virtuales se pueden usar para determinar la posición de la unidad móvil exactamente igual que si hubiera múltiples receptores reales en las posiciones correspondientes y no hubiera superficie reflectante alguna. Dicho de otra forma, el, o cada, receptor virtual se puede considerar como si este hubiera recibido el eco como una señal directa a partir de la unidad móvil. La posición que se considera que tiene el receptor virtual se puede determinar a partir de las posiciones conocidas del receptor real y la superficie reflectante. Una vez que se ha determinado la superficie que se corresponde con cada eco, se puede realizar un cálculo de trilateración o de multilateración convencional, usando métodos esféricos (tiempo de llegada) o hiperbólicos (diferencia de tiempo de llegada), para determinar la posición de la unidad móvil. El uso de este enfoque de trilateración o de multilateración modificado es ventajoso debido a que el mismo es eficiente desde el punto de vista del cálculo en comparación con, por ejemplo, un trazado de rayos.

En unas realizaciones que tienen más de una superficie reflectante, puede ser necesario determinar qué eco se ha reflejado a partir de qué superficie (y, por lo tanto, con qué posición de receptor virtual se corresponde el mismo). Esto se puede realizar por medio de un enfoque de prueba y error exhaustivo - es decir, probar cada posible emparejamiento de ecos y superficies y determinar cuál da la estimación más consistente o verosímil para la posición de la unidad móvil. En unas realizaciones preferidas, no obstante, el receptor tiene una información suficiente a partir de las señales recibidas para determinar en qué superficie se origina un eco particular, por ejemplo, al considerar la intensidad de señal del eco así como su tiempo de llegada. En unas realizaciones preferidas, el receptor está ubicado cerca de una superficie límite (una pared, el suelo o el techo) de una habitación. En algunas realizaciones, se usa la superficie límite más cercana como la superficie reflectante. Esto puede permitir que los ecos se identifiquen con relativa facilidad, debido a que estos siguen muy de cerca a la señal directa.

En algunas realizaciones, el receptor está ubicado cerca de una esquina para dar una o dos superficies reflectantes adicionales cercanas que se podrían usar como receptores virtuales. El receptor se podría montar en una de las superficies límite y usar solo la otra superficie o superficies límite en la esquina como superficies reflectantes, o este se podría extender a partir de, y estar soportado por, una de las superficies.

En otras realizaciones, se usa como superficie reflectante la superficie límite opuesta. En algunas realizaciones, el receptor está montado sobre una pared de una habitación en oposición paralela con respecto a la pared que actúa como la superficie reflectante. Esto permite un grado muy amplio de cobertura. En un conjunto de realizaciones a modo de ejemplo, el receptor está montado en el techo de la habitación - por ejemplo, en el centro de la habitación - y usa el suelo como la superficie reflectante. Esto da casi 360 grados de cobertura.

Los transductores están configurados, por ejemplo, en lo que respecta a su posicionamiento, sus características de respuesta o el análisis de datos que se aplique, para optimizarse para la recepción de las señales directa y reflejada, respectivamente.

Según se apreciará, el uso de receptores virtuales de acuerdo con la invención quiere decir que se requieren menos receptores reales para dar el mismo nivel de precisión posicional. En particular, por lo tanto, no hay requisito alguno de proporcionar receptores separados uno de otro para cubrir una zona de supervisión. Es obvio que esto presenta ventajas en términos de los costes de equipo y de instalación, tal como se ha explicado anteriormente. De hecho, en unas realizaciones preferidas de la invención, la determinación de posición de unidades móviles se puede llevar a cabo por medio de una única unidad de recepción, la cual puede comprender uno o más transductores que están incorporados en la misma. El beneficio en la provisión de una única unidad, instalada en una única ubicación, es que esta reduce de forma drástica el coste de instalación y la inconveniencia en comparación con la instalación de unidades en múltiples ubicaciones.

Con el fin de determinar de manera precisa la posición de la unidad móvil, se puede hacer uso de una información en relación con las posiciones y/u orientaciones relativas o absolutas del receptor y la superficie o superficies reflectantes. Preferiblemente, por lo tanto, esta información se usa para determinar la posición de la unidad móvil dentro de la zona de detección. Tal información podría referirse a la geometría de la zona de detección; por ejemplo, las ubicaciones de la totalidad de sus superficies límite. Tal información se puede determinar antes de, o durante, la instalación por parte de, por ejemplo, un instalador humano, midiendo distancias dentro de la zona de detección. Preferiblemente, no obstante, se lleva a cabo una etapa de calibración automática en la que los medios de procesamiento adquieren una información en relación con la ubicación de la superficie o superficies reflectantes y/o el receptor mediante la recepción de una señal acústica. Esta señal puede ser emitida por la unidad móvil (por ejemplo, cuando se encuentra en una ubicación conocida) o alguna otra fuente pero preferiblemente el receptor, o un transmisor que está alojado en la misma unidad, emite por sí mismo la señal.

En un conjunto de realizaciones, el receptor comprende dos transductores independientes, teniendo el segundo una sensibilidad direccional mayor que la del primero. Esto permite, de forma ventajosa, que el primer transductor reciba la señal directa a partir de la unidad móvil y que el segundo transductor reciba el eco que se refleja a partir de la superficie reflectante, debido a que la sensibilidad direccional se puede aprovechar para pretender que el segundo transductor capte el eco con preferencia respecto a la señal directa. Por ejemplo, en algunas realizaciones preferidas, hay al menos una línea imaginaria incluida en el ángulo de valor mitad de respuesta que incide sobre la superficie reflectante dentro de la zona de detección. El ángulo de valor mitad de respuesta se define como el ángulo con el cual la sensibilidad es mayor que la mitad del máximo - es decir, el ángulo al que la respuesta cae en 6 dB.

Tales disposiciones hacen que sea más sencillo distinguir el eco con respecto a la señal de trayectoria directa y con respecto a otro ruido (por ejemplo, ecos adicionales a partir de otros objetos).

En un conjunto de realizaciones a modo de ejemplo, el primer transductor comprende un micrófono omnidireccional. El segundo transductor podría comprender un micrófono direccional o uno omnidireccional con una guía de ondas o un apantallamiento para añadir directividad. De hecho, se podría usar una guía de ondas o un apantallamiento incluso con un micrófono inherentemente direccional para potenciar adicionalmente su directividad. En algunas realizaciones, el segundo transductor tiene un ángulo de valor mitad de entre 10 y 60 grados; preferiblemente, de entre 10 y 40 grados; por ejemplo, 30 grados. Preferiblemente, el primer transductor o bien no tiene un ángulo de valor mitad (es decir, su variación angular es menor que 6 dB) o bien el ángulo de valor mitad es mayor que el del segundo transductor; preferiblemente, mayor que 60 grados.

En otro conjunto de realizaciones, se emplea un conjunto de transductores. La fase y/o los tiempos de llegada relativos de la señal en los transductores respectivos en el conjunto (que se conoce como un conjunto en fase o conjunto de formación de haz), permiten que se determine la dirección de una señal dada. Se puede entender igualmente que las referencias en el presente documento a un transductor o micrófono direccional se refieren a un conjunto en fase o de formación de haz de transductores con unos medios de procesamiento asociados.

En algunas de las realizaciones, el segundo transductor, o una parte del mismo, es móvil con el fin de permitir que se ajuste su eje direccional. Esto permite que se optimice la configuración para una instalación particular. En un conjunto de realizaciones, el segundo transductor está montado sobre un soporte móvil, tal como una suspensión de tipo cardán giratoria. En otras realizaciones, tales como aquellas que emplean un conjunto en fase de transductores, no se proporciona ajuste físico alguno. En su lugar, se puede lograr una especificidad direccional en una fase de procesamiento de señal.

El receptor puede comprender una pluralidad de micrófonos que tienen una directividad relativamente mayor que la de dicho primer micrófono; por ejemplo, tres micrófonos en total. Preferiblemente, los ejes direccionales de los micrófonos relativamente direccionales son mutuamente no paralelos.

5 El receptor se podría proporcionar en una unidad que contiene su propia fuente de alimentación, tal como una batería, un condensador, una pila de combustible o un panel solar pero, preferiblemente, tiene una conexión eléctrica cableada. En algunas realizaciones particularmente preferidas, el receptor recibe alimentación a través de Ethernet (tal como se define en la norma IEEE 802.3). El receptor puede soportar una comunicación externa (por ejemplo, con una unidad de recepción adicional, con una unidad de micrófono de satélite o con un servidor) a través de conexiones cableadas, tales como Ethernet, FireWire o USB, o a través de un enlace inalámbrico, tal como de infrarrojos o de radiofrecuencia (por ejemplo, la norma IEEE 802.11).

15 La unidad de recepción puede comprender los medios de procesamiento que se han mencionado en lo que antecede, o los medios de procesamiento pueden estar separados de la unidad de recepción, siendo, por ejemplo, un servidor que está ubicado en el exterior de la zona de detección. En algunas realizaciones, se emplea más de un receptor en unas ubicaciones respectivas. Los receptores adicionales se pueden disponer de una diversidad de formas para recibir unas señales acústicas directas respectivas a partir de la unidad móvil y/o las señales reflejadas. Estos pueden contener algunos o la totalidad de los rasgos distintivos del primer receptor. En tales realizaciones, preferiblemente, los medios de procesamiento están dispuestos para usar los tiempos de llegada de las señales en una pluralidad de receptores para determinar la posición de la unidad móvil dentro de la zona de detección.

25 En unas realizaciones que tienen una pluralidad de receptores para una zona de detección, en las que cada receptor comprende un reloj, preferiblemente se proporcionan medios para sincronizar los relojes. Esto se puede realizar usando un protocolo a través de una red que conecta los receptores. En una instalación que comprende múltiples zonas de detección distintas, cada una con su propio receptor o receptores, los relojes se pueden sincronizar a través de las zonas de detección; a pesar de que puede que esto no sea necesario (es decir, puede bastar una sincronización puramente local dentro de cada zona de detección). En algunas realizaciones, la unidad móvil comprende un reloj; en tales casos, preferiblemente, se proporcionan unos medios para sincronizar el reloj de la unidad móvil con los de uno o más receptores.

30 Preferiblemente, la unidad móvil comprende unos medios de acoplamiento para acoplar esta a un objeto o a una persona. De forma ventajosa, esta comprende su propia fuente de alimentación; por ejemplo, una batería, un condensador, una pila de combustible o un panel solar. La señal acústica puede ser de cualquier frecuencia apropiada; esta puede ser audible, es decir, en el intervalo de 20 Hz - 20 kHz pero, preferiblemente, esta es ultrasónica; es decir, mayor que 20 kHz. La señal acústica puede ser de una frecuencia constante (es decir, un tono) pero preferiblemente esta es de frecuencia variable tal como sometida a un barrido en frecuencia - por ejemplo, un barrido en frecuencia lineal - debido a que esto puede proporcionar una mejor resistencia al ruido. En unas realizaciones particularmente preferidas, la señal acústica consiste en un barrido en frecuencia ascendente seguido por un barrido en frecuencia descendente (o viceversa), opcionalmente con un hueco entre los mismos. De forma ventajosa, estos son unos barridos en frecuencia lineales, lo que puede proporcionar una buena resistencia al desplazamiento por efecto Doppler (por ejemplo, si la unidad móvil se está moviendo en relación con el receptor o receptores). Por lo general, el intervalo de frecuencias de barrido en frecuencia es de tal modo que el desplazamiento de frecuencia por efecto Doppler que resulta del movimiento relativo constituye solo una pequeña fracción del intervalo de frecuencias de barrido en frecuencia. Se pueden usar, de forma equivalente, barridos en frecuencia geométricos, pero su generación es más compleja.

50 Los ecos de interés se pueden separar entonces de otros picos mediante la realización de unas correlaciones cruzadas separadas para las señales de barrido en frecuencia ascendente y descendente y la identificación de picos que tienen una amplitud y una agudeza similares uno con respecto a otro que están desplazados la misma separación de tiempo que los dos barridos en frecuencia. Un posible criterio que se puede aplicar en este contexto es

$$a \left| \frac{A_{\uparrow} - A_{\downarrow}}{A_{\uparrow} + A_{\downarrow}} \right| + (1 - a) \left| \frac{S_{\uparrow} - S_{\downarrow}}{S_{\uparrow} + S_{\downarrow}} \right| < \textit{umbral}$$

55 en la que A es la amplitud de pico y S es la agudeza de los picos asociados del barrido en frecuencia ascendente y descendente, mientras que a es un factor de ponderación entre 0 y 1.

60 La señal acústica puede codificar una información tal como un código de identificación (ID) para la unidad móvil o una información de estatus (por ejemplo, el nivel de batería de la unidad móvil). Como alternativa, tal información se puede enviar por separado. Esto podría ser a través de un canal electrónico o electromagnético independiente tal como un canal de radio. Preferiblemente, no obstante, tal información se envía por medios acústicos, pero separada en el tiempo y/o la frecuencia con respecto a la señal acústica que se usa para la localización. De forma ventajosa, se envía una información después de la señal acústica. De esta forma, la señal acústica puede permitir que el

receptor determine una información en relación con características del entorno acústico que es ocupado por la unidad móvil y el receptor; por ejemplo, la cantidad de desplazamiento por efecto Doppler, de haber alguna, en la señal, la cantidad y la naturaleza de cualquier ruido de fondo, y la característica de eco y de atenuación de la zona de detección. Tal información se puede usar para aumentar la precisión cuando se descodifican otras comunicaciones a partir de la unidad móvil, por ejemplo, lo que posibilita unas tasas de transmisión de datos más altas.

Por lo tanto, se puede usar una transmisión previamente determinada para facilitar la interpretación de una transmisión de datos en un entorno acústico. Un método de transmisión de información desde la unidad móvil dentro de una zona de detección a un receptor comprende:

- emitir una señal acústica previamente determinada a partir de la unidad móvil;
- recibir la señal previamente determinada;
- calcular una estimación de la transformación que es experimentada por dicha señal previamente determinada en la transmisión;
- emitir una señal acústica que codifica dicha información;
- recibir la señal codificada; y
- descodificar dicha señal codificada usando dicha estimación de la transformación.

La señal previamente determinada se podría usar solo para calcular la estimación de la transformación. No obstante, preferiblemente esta se usa para determinar la posición de la unidad móvil - por ejemplo, tal como se ha descrito en lo que antecede.

Cuando una información está codificada en una señal acústica, tal codificación podría ser por modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, *frequency shift keying*) singular, modulación por desplazamiento de frecuencia múltiple (MFSK, *multiple frequency shift keying*), modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, *amplitude shift keying*), modulación por desplazamiento de fase (PSK, *phase shift keying*) o cualquier otro mecanismo adecuado. En un conjunto de realizaciones preferidas, una información está codificada en la secuencia de un conjunto de señales, por ejemplo, barridos en frecuencia lineales, que se seleccionan de entre un conjunto finito. Por lo tanto, el conjunto de señales es, en efecto, un 'alfabeto'. Preferiblemente, las señales tienen una baja correlación cruzada y, preferiblemente, una autocorrelación de pico elevado. Un esquema de codificación de este tipo puede proporcionar una mayor robustez para la multitrayectoria y otra interferencia que, póngase por caso, FSK.

La señal previamente determinada se podría transmitir antes o después de la señal codificada o podría ser una parte de la misma. Por ejemplo, cuando la señal codificada comprende una secuencia de señales a partir de un conjunto finito de señales, una o más de estas señales pueden actuar como la señal previamente determinada.

Ser capaz de usar de manera precisa el conocimiento de la transformación de la señal transmitida para identificar una transmisión y sus ecos quiere decir que, bastante al margen de intentar eliminar por filtrado los ecos como ruido no deseado, la información que está contenida en los mismos se puede extraer para dar una señal de datos más fiable que, por lo tanto, facilita la descodificación. A su vez, esto quiere decir que se puede usar una tasa de transmisión de datos más alta.

En unas realizaciones preferidas, la posición de la unidad móvil se calcula usando el tiempo de vuelo del sonido desde la unidad móvil hasta el receptor. Para tales fines de temporización, se puede definir que la recepción de la señal acústica se da cuando la salida de intensidad de señal absoluta de un transductor que forma parte del receptor supera un umbral previamente determinado, o bien de forma instantánea o bien a lo largo de un periodo de muestra.

El tiempo de vuelo se puede medir de un número de formas. Una forma es el uso de una señal electromagnética separada como la base para temporizar la señal acústica. De forma conveniente, por ejemplo, la unidad móvil podría transmitir una señal electromagnética de forma simultánea con, o al menos teniendo una relación de temporización previamente definida con, la señal acústica. Mediante la determinación del retardo entre la recepción de la señal electromagnética (o bien en el receptor o bien en otro receptor) y la recepción de la señal acústica en el receptor, se puede calcular el tiempo de vuelo de la señal acústica (debido a que, por lo general, se puede considerar que la señal electromagnética llega de forma instantánea). Esto supone que el receptor está escuchando la señal electromagnética, o al menos que el mismo está informado de su transmisión, o de su recepción en otro receptor.

Como alternativa, el tiempo de vuelo de la señal acústica se podría determinar mediante la transmisión de una señal electromagnética a la unidad móvil, estando dispuesta la unidad móvil para emitir la señal acústica al momento de la recepción de la señal electromagnética, y mediante la determinación del retardo entre la transmisión de la señal electromagnética y la recepción de la señal acústica en el receptor. Una vez más, se puede suponer que el tiempo de vuelo de la señal electromagnética es nulo, y el retardo da el tiempo de vuelo de la señal acústica más un 'tiempo de inversión' conocido en la unidad móvil - es decir, el tiempo que se tarda entre que la unidad móvil reciba la señal electromagnética y que transmita la señal acústica.

En otro conjunto de realizaciones, el tiempo de vuelo se mide usando unos relojes sincronizados en la unidad móvil y el receptor. Por lo tanto, en tales realizaciones, la unidad móvil comprende un reloj y transmite una información en relación con el tiempo de la transmisión de señal acústica. Esta información de temporización se puede codificar en el propio sonido, o enviarse por medios acústicos pero por separado de la señal que se ha mencionado en lo que antecede (por ejemplo, en un momento posterior o con una frecuencia diferente), o esta se puede enviar a través de un canal separado al canal acústico, tal como una WLAN u otro canal de radiofrecuencia.

Preferiblemente, el receptor, o un servidor en comunicación con el receptor, comprende un reloj y está dispuesto para determinar una información en relación con el instante en el que el sonido es recibido por el receptor. El tiempo de vuelo del sonido se puede determinar entonces a partir de la información en relación con el tiempo de la transmisión acústica y a partir de la información en relación con el tiempo de la recepción de la señal acústica.

La precisión del procedimiento que se ha mencionado en lo que antecede depende del grado de sincronismo entre la unidad móvil y el receptor. Unos métodos preferidos de acuerdo con la invención comprenden la etapa de sincronizar un reloj en la unidad móvil con un reloj remoto. El reloj remoto podría ser uno que esté asociado con el receptor o podría estar separado del mismo (a pesar de ello, el receptor se podría sincronizar entonces también a partir del mismo). En algunas realizaciones preferidas, dicha sincronización de unidad móvil se realiza usando un enlace electromagnético - por ejemplo, un enlace de RF. En un conjunto de realizaciones, una señal de sincronización de reloj se envía por radio del receptor a la unidad móvil antes de que se transmita, desde la unidad móvil, una señal de localización acústica. Esta señal de sincronización podría comprender el tiempo actual o un factor de corrección.

En un conjunto alternativo de realizaciones, la unidad móvil emite una señal siguiendo una programación previamente determinada (por ejemplo, a unos intervalos uniformes) y, por lo tanto, el tiempo de transmisión por la unidad móvil puede ser conocido por el receptor o los medios de procesamiento.

Como alternativa, la sincronización de la unidad móvil se podría llevar a cabo con la unidad móvil en una posición conocida en relación con el receptor. La diferencia entre la posición verdadera de la unidad móvil y la posición que se estima a partir de la señal acústica que es recibida por el receptor se podría usar para calibrar o sincronizar la unidad móvil. Se podría usar un método similar para configurar o calibrar el receptor. En un ejemplo conveniente, una unidad móvil se podría colocar en una unidad de acoplamiento que está conectada con el receptor. Esta podría estar fijada y ser de posición conocida, o transmitir por sí misma una señal para determinar su posición (que no es necesario que sea acústica). La base de acoplamiento se podría conectar por medio de una conexión cableada para mantener la sincronización, y podría conectar entonces directamente con la unidad móvil para sincronizar la misma - es decir, sin requerir un transmisor/receptor de RF separado en la unidad móvil.

Otro enfoque ideado por el solicitante para la sincronización de un reloj en la unidad móvil con un reloj remoto es, en primer lugar, determinar la posición de la unidad móvil usando solo una información en relación con las diferencias de tiempo de llegada (TDOA, *time difference of arrival*) del sonido a lo largo de una pluralidad de trayectorias en uno o más receptores, lo que no requiere el uso del reloj de la unidad móvil; y entonces, si es apropiado, ajustar o compensar el reloj de la unidad móvil basándose en la posición determinada de la unidad móvil y el tiempo de llegada absoluto del sonido a lo largo de una de la pluralidad de trayectorias en un receptor, que se mide contra el reloj remoto. Si se va a compensar el reloj, tal compensación puede ser aplicada por los medios de procesamiento.

Se ha de entender que determinar la posición de la unidad móvil quiere decir determinar una estimación de la posición dentro de una precisión espacial o un grado de confianza apropiado para el contexto al que se aplica la invención. No se tiene por objeto, ni se debería inferir, nivel particular alguno de precisión. En algunas realizaciones, la posición de la unidad móvil se puede determinar con una precisión de un metro; en unas realizaciones más preferidas, con una precisión de uno o dos centímetros; o incluso con una precisión de un milímetro o menos.

En algunas realizaciones, se puede realizar una estimación de la precisión de la determinación de posición. Esto se podría lograr, por ejemplo, usando información adicional por encima del requisito mínimo para realizar una determinación de posición. Por ejemplo, esta puede depender del grado de concordancia entre estimaciones de posición independientes. La precisión se puede almacenar y/o visualizar y/o comunicar por medios electrónicos. En unas realizaciones en las que se ajusta o se compensa un reloj en la unidad móvil, preferiblemente tal ajuste o compensación se aplica solo cuando se determina que una estimación de posición particular en la que se basa el ajuste o la compensación es precisa dentro de un margen previamente determinado.

Por lo tanto, un método de sincronización de reloj comprende:

- transmitir una señal acústica a partir de la unidad móvil, comprendiendo la unidad móvil un reloj;
- recibir la señal acústica en una pluralidad de receptores;
- determinar una estimación de la posición de la unidad móvil a partir de la diferencia o diferencias en el tiempo de llegada y/o la fase de la señal en dichos receptores;
- calcular un factor de corrección de reloj usando: la posición estimada de la unidad móvil, el tiempo de transmisión de la señal medido contra dicho reloj de unidad móvil, y el tiempo de llegada de la señal en uno de dichos

- transductores medido contra un reloj de referencia; y
- aplicar dicho factor de corrección al reloj de unidad móvil para poner este en sincronización con dicho reloj de referencia.

5 La etapa de aplicar el factor de corrección al reloj de unidad móvil puede comprender ajustar el reloj de unidad móvil directamente (por ejemplo, de tal modo que este emite unos datos de tiempo que están sincronizados con el reloj de referencia), o puede comprender aplicar un factor de corrección en el receptor o un servidor a los datos de tiempo (incorrectos) que son emitidos por el reloj de unidad móvil de tal modo que los datos corregidos se sincronizan con el reloj de referencia.

10 La unidad móvil puede transmitir la señal acústica de acuerdo con una programación previamente determinada, o la señal acústica puede comprender unos datos en relación con su tiempo de transmisión medido contra el reloj de unidad móvil, o tales datos se pueden transmitir por separado de la señal acústica - por ejemplo, a través de un enlace de RF. En particular, si el canal acústico está ocupado, puede ser necesario que la unidad móvil se retire - preferiblemente esta está dispuesta en tales casos para enviar datos en relación con el tiempo de transmisión a través de un canal separado, o al menos para enviar una información de retroceso (por ejemplo, el número de intentos en un esquema de retroceso previamente determinado) a partir de la cual el receptor, o el sistema, puede reconstruir el tiempo del reloj en la unidad móvil.

15 Preferiblemente, el tiempo de vuelo de la reflexión o eco de la señal acústica a partir de la superficie reflectante se usa para calcular la posición de la unidad móvil. No obstante, esto no es esencial. Por ejemplo, se podría usar la diferencia de tiempo de llegada (TDOA, *time difference of arrival*) del eco en comparación con la señal de trayectoria directa (o una señal que ha seguido otra trayectoria).

20 La posición de la unidad móvil se puede determinar mediante cualquier método apropiado tal como trilateración o multilateración (usando una información de tiempo de llegada (TOA, *time of arrival*) para determinar la ubicación mediante una intersección esférica o usando una información de diferencia de tiempo de llegada (TDOA, *time difference of arrival*) para determinar la ubicación mediante una intersección elipsoidal); o un modelado acústico del espacio incluido, la unidad móvil, la superficie reflectante y el receptor, por ejemplo, usando un trazado de rayos.

25 En algunas realizaciones preferidas, el receptor está dispuesto para estimar el ángulo de llegada (AOA, *angle of arrival*) de la señal a partir de la unidad móvil. Esto se puede lograr, por ejemplo, a través del aprovechamiento del conocimiento de la respuesta angular del transductor, en concreto cuando se usa un transductor direccional. Cuando haya múltiples transductores, se puede usar la diferencia en la fase o la temporización entre las señales que se reciben en cada uno. Cuando haya un pequeño número de transductores discretos, esto podría ser lo bastante preciso para dar un intervalo angular para la localización. Cuando se proporciona un conjunto de transductores, entonces se pueden usar principios de formación de haz para dar una estimación más precisa.

30 Por lo tanto, cuando el receptor comprende un primer y un segundo transductores, preferiblemente la invención comprende adicionalmente determinar el tiempo de llegada de la señal acústica directa en un primer transductor y determinar el tiempo de llegada de la señal acústica directa en un segundo transductor. A partir de estos tiempos de llegada, se puede determinar una información en relación con la dirección desde la cual se recibió el sonido en el receptor. Por ejemplo, se puede estimar un ángulo de llegada en relación con un plano de referencia. Al igual que en lo que antecede, los tiempos de llegada pueden ser absolutos o relativos uno con respecto a otro. Se puede emprender una etapa similar en lo que respecta al eco o ecos. Además de, o como alternativa a, el tiempo de llegada, se puede determinar y usar, de forma similar, una información en relación con la fase y/o la amplitud de la señal para estimar, o contribuir a una estimación de, la dirección de llegada. Por supuesto, este enfoque no está limitado solo al primer y al segundo transductores, sino que se puede aplicar en cualquier número de transductores.

35 Por lo tanto, incluso antes de que se reciba un primer eco en el receptor, se puede establecer algo de información acerca de la posición de la unidad móvil dentro de la zona de detección. Puede que esto no sea, por sí mismo, suficiente para determinar una estimación de la ubicación de la unidad móvil con la precisión requerida, pero se puede combinar con otra información tal como la relativa a las longitudes de trayectoria de la trayectoria directa y el eco o ecos que se determinan a partir de una información de tiempo de llegada o de diferencia de tiempo de llegada.

40 Esta también se puede usar, en una zona de detección que tiene múltiples superficies reflectantes, para determinar la identidad de una superficie reflectante por la cual ha sido reflejado un eco particular.

45 En algunas circunstancias, puede que no sea posible determinar la posición de la unidad móvil mediante ninguno de los enfoques anteriores - por ejemplo, si no hay trayectoria directa alguna entre la unidad móvil y el receptor, o si la unidad móvil se encuentra muy cerca de la esquina de una habitación y, por lo tanto, produce ecos a partir de cada una de las paredes en una sucesión tan rápida que estos no se pueden identificar por separado. En tales casos, puede no obstante que sea deseable conocer simplemente si la unidad móvil se encuentra, o no, en una zona de detección dada (tal como una habitación). Por lo tanto, preferiblemente, el sistema está dispuesto adicionalmente para determinar si la unidad móvil se encuentra en la zona de detección. Preferiblemente, este está dispuesto para almacenar y/o visualizar y/o comunicar por medios electrónicos dicha determinación.

5 En un conjunto particular de realizaciones, la unidad móvil intenta iniciar una secuencia de transmisión a unos intervalos de tiempo previamente determinados (por ejemplo, cada 5 minutos). En un ejemplo, la unidad móvil realiza inicialmente una transmisión de RF al receptor. Preferiblemente, el receptor transporta una ranura de tiempo a la unidad móvil, preferiblemente por radio. Preferiblemente, la unidad móvil transporta una ID corta (y, posiblemente, no única) al receptor. Es deseable que la combinación de la ranura de tiempo y la ID sea única para el lugar. Si no se establece conexión alguna entre la unidad móvil y el receptor, la unidad móvil podría recurrir por defecto al uso de una ID de unidad móvil única y más larga.

10 Por lo tanto, unos métodos de la invención pueden comprender adicionalmente recibir una información de ranura de tiempo en la unidad móvil y transmitir una señal acústica a partir de la unidad móvil en dicha ranura de tiempo. Preferiblemente, se transmite un código de ID a partir de la unidad móvil. La señal de localización acústica puede comprender, en sí misma, el código de ID, o el código de ID se puede transmitir por separado. Si se transmite por separado pero por medios acústicos, preferiblemente esta tiene una sección de baja correlación cruzada con dicha señal de localización acústica, con el fin de evitar una interferencia si una unidad móvil transmite su código de ID al mismo tiempo que otra unidad móvil está emitiendo una señal de localización.

15 En algunas realizaciones, la unidad móvil está configurada para retardar la transmisión de una señal acústica por un canal hasta que el canal ha estado en silencio durante al menos un tiempo previamente determinado. Preferiblemente, el tiempo previamente determinado es el tiempo que lleva al sonido desplazarse dos veces la dimensión máxima del espacio incluido (es decir, más larga que la trayectoria de señal reflejada anticipada más larga). No obstante, si los sonidos que son emitidos tienen una sección de baja correlación cruzada entre sí, se puede permitir una transmisión simultánea, aumentando de este modo la máxima tasa de actualización posible en un entorno que contiene múltiples unidades móviles.

20 Una cierta realización de la invención se describirá a continuación, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un dibujo en perspectiva de la parte exterior de un receptor que materializa la invención;

30 la figura 2 es un dibujo en perspectiva de la parte interior del receptor;

la figura 3 es un dibujo en perspectiva de una guía de ondas que forma parte del receptor;

35 la figura 4 es un dibujo en perspectiva de un micrófono direccional que forma parte del receptor;

la figura 5 es un diagrama esquemático que muestra cómo el receptor determina la posición de una unidad móvil de acuerdo con la invención;

40 la figura 6 es un diagrama similar al de la figura 5 que muestra las ubicaciones de los 'receptores virtuales'; y

la figura 7 es un diagrama esquemático del receptor conectado en red con otros receptores y un procesador central.

45 Con detalle, la figura 1 muestra, en una vista en perspectiva, la parte exterior de un receptor 2 de acuerdo con la invención. Una cubierta moldeada 4 protege los componentes sensibles internos del receptor 2 frente a una exposición ambiental nociva. No obstante, la cubierta 4 comprende una abertura con rejilla 6 y una abertura circular 10, ambas de las cuales permiten que los ultrasonidos pasen a través de la cubierta 4 hasta la parte interior de la unidad. Un acceso de conexión 8 es apto para recibir un cable de Ethernet que soporta Alimentación a través de Ethernet. Apenas visibles a través de la abertura con rejilla 6, hay un micrófono direccional izquierdo 12 y un micrófono direccional derecho 14. Preferiblemente, el receptor 2 está dispuesto para estar montado sobre una pared o el techo, pero puede ser autoestable.

55 La figura 2 muestra la parte interior del receptor 2, que comprende un miembro posterior plano 16 sobre el cual se puede sujetar firmemente la cubierta moldeada 4 (que no se muestra). También está acoplada al miembro posterior 16 una placa de circuito 18 a la que están acoplados componentes electrónicos discretos, procesadores, una memoria, una batería de respaldo y módulos de comunicación. Los micrófonos direccionales izquierdo y derecho 12, 14 y un micrófono omnidireccional 20 se encuentran en comunicación eléctrica con la placa de circuito 18. Cuando la cubierta moldeada 4 se encuentra en su lugar, la abertura circular 10 en la cubierta 4 está alineada con el micrófono omnidireccional 20 para permitir que el sonido alcance el micrófono libremente a partir de todas las direcciones hacia delante de la unidad. Una depresión circular 22 que está ubicada en una posición central entre los micrófonos izquierdo y derecho 12, 14 puede recibir opcionalmente un tercer micrófono direccional (que no se muestra).

65 La figura 3 muestra una vista de cerca de una guía de ondas 24, que es un componente de cada micrófono direccional 12, 14. La guía de ondas 24 comprende cuatro superficies planas 26, 28, 30, 32 que están dispuestas en torno a, y cuya sección transversal decrece hacia, un orificio central 34. Durante el uso, las superficies planas cooperan para orientar el sonido desde el interior de un cono relativamente estrecho hacia delante de la guía de

ondas (que tiene su vértice en el centro del orificio 34) hacia el orificio 34. Las superficies planas también actúan para bloquear o atenuar el paso a través del orificio 34 del sonido que proviene de la parte de delante de la guía de ondas pero del exterior del cono. El ángulo de valor mitad (el sector limitado por los ángulos a los que la sensibilidad cae a la mitad del máximo) de cada micrófono 12, 14 varía inversamente con el radio del orificio 34.

La figura 4 es una vista detallada del micrófono direccional izquierdo 12 (el micrófono direccional derecho 14 es idéntico). El elemento de transductor (que no es visible) convierte energía acústica en energía eléctrica y está ubicado en el interior del cuerpo cilíndrico 36 del micrófono. La parte delantera del cuerpo cilíndrico 36 comprende una guía de ondas 24 tal como se muestra con más detalle en la figura 3. El elemento de transductor está ubicado cerca del orificio central 34 en la guía de ondas 24, de tal modo que sustancialmente únicamente el sonido dentro del patrón de directividad del cono que se ha mencionado en lo que antecede alcanza el elemento de transductor.

El micrófono direccional 12 también comprende una suspensión de tipo cardán 38, que está acoplada al cuerpo cilíndrico 36 por medio de un par de pivotes 40 a uno y otro lado del cuerpo 36. Estos permiten que el ángulo del cuerpo 36 del micrófono 12 se ajuste en relación con la suspensión de tipo cardán 38 a lo largo de 180 grados en torno a un eje que pasa a través de los pivotes 40. Además, la suspensión de tipo cardán 38 tiene una base circular que encaja de forma giratoria en una depresión circular (por ejemplo, 22) en el receptor con el fin de permitir que la totalidad del micrófono 12 se rote a cualquier ángulo en torno a un eje ortogonal con respecto al eje de pivote que se ha mencionado en lo que antecede. Por lo tanto, cuando están montados en el receptor 2, los ejes de los micrófonos direccionales 12, 14 (es decir, el eje del cono que se ha mencionado previamente) se pueden ajustar a cualquier ángulo deseado en tres dimensiones en relación con la base 16 del receptor. Preferiblemente, la abertura con rejilla 6 está dispuesta con el fin de permitir el paso libre del sonido desde sustancialmente cualquier dirección en la que se puedan orientar físicamente los micrófonos direccionales 12, 14.

La figura 5 muestra la instalación y el funcionamiento del receptor 2 para determinar la posición de una unidad móvil 48. El receptor 2 está instalado cerca de una esquina de una habitación en la que se encuentran una pared posterior 42, una pared lateral 44 y el techo 46. El receptor 2 está montado sobre la pared posterior 42 con una pequeña separación con respecto a la propia esquina. Por ejemplo, este podría encontrarse abajo en sentido vertical con respecto al techo 42 y retirado en sentido horizontal de la pared lateral 44 aproximadamente 20 - 150 cm; por ejemplo, 80 cm.

El micrófono izquierdo 12 está orientado con el fin de tener su eje direccional aproximadamente en un plano horizontal y dirigido hacia la pared lateral 44 con un ángulo de aproximadamente 45 grados. El micrófono derecho 14 está orientado con el fin de tener su eje direccional aproximadamente en un plano vertical y dirigido hacia el techo 46 con un ángulo de aproximadamente 45 grados.

Una unidad móvil 48 está situada dentro de la habitación, no inmediatamente adyacente ni a las paredes 42, 44 ni al techo 46. Esta se puede acoplar a una persona o artículo de equipo (que no se muestra). Esta se puede disponer para transmitir una señal de ultrasonidos sustancialmente de manera uniforme a través de la totalidad de la habitación. Como alternativa, esta puede emitir sonidos con un patrón direccional hacia una parte de la habitación (por ejemplo, de forma semiesférica - por ejemplo, a partir de la parte de la habitación más alta que la unidad móvil). Por ejemplo, esta puede emitir sonidos en un patrón que tiene un ángulo de valor mitad de la presión de sonido de aproximadamente 50 grados. La unidad móvil 48 puede comprender un transductor de ultrasonidos tal como un MA40S4S facilitado por Murata Manufacturing Co., Ltd. (marca comercial).

Parte de la señal se desplazará directamente hasta la pared lateral 44; parte directamente hasta la pared posterior 42; y parte directamente hasta el techo 46. En particular, parte del sonido que se desplaza directamente hasta la pared posterior 42 se desplazará a lo largo de una trayectoria directa 54 entre la unidad móvil y el micrófono omnidireccional 20 del receptor 2. Del sonido que se desplaza directamente hasta la pared lateral 44, parte se desplazará a lo largo de una trayectoria directa 56 hasta un punto 50 sobre la pared lateral a partir del cual esta se reflejará a lo largo de una trayectoria directa 58 hacia el micrófono unidireccional izquierdo 12. Esta trayectoria directa 58 se encuentra dentro del cono de recepción del micrófono 12 y, por lo tanto, se canalizará a través de la guía de ondas 24 y hacia el elemento de transductor del micrófono.

De forma similar, parte del sonido que se desplaza directamente hasta el techo 46 se desplazará a lo largo de una trayectoria directa 60 hasta un punto 52 sobre el techo a partir del cual esta se reflejará a lo largo de una trayectoria directa 62 hacia el micrófono unidireccional derecho 14, que tiene su eje direccional en ángulo hacia el techo 46. Como es bien sabido, los ángulos de incidencia y de reflexión en el punto 50 sobre la pared lateral 44 (que se define en relación con la normal a la pared lateral 44 en ese punto 50) serán iguales uno a otro; de forma similar, los ángulos de incidencia y de reflexión en el punto 52 en el techo 46 serán iguales. Por lo tanto, se puede ver que la pared lateral 44 y el techo 46 actúan como superficies reflectantes para la señal ultrasónica.

Debido a que la longitud de la trayectoria directa 54 es más corta que cualquier trayectoria reflejada, el sonido a partir de la unidad móvil 48 que se desplaza a lo largo de la trayectoria directa 54 alcanza el receptor 2 en primer lugar. A pesar de que los micrófonos direccionales izquierdo y derecho 12, 14 se encuentran en la trayectoria del sonido de trayectoria directa, las guías de ondas 24 de estos micrófonos están dispuestas para bloquear o atenuar físicamente tales señales de trayectoria directa para la mayoría de posiciones posibles para la unidad móvil 48

dentro de la habitación. Las orientaciones de los ejes direccionales de los micrófonos direccionales izquierdo y derecho 12, 14 son de tal modo que, para la mayor parte de las posiciones realistas de la unidad móvil en la habitación en cualquier aplicación dada, sus transductores respectivos registran una señal más fuerte para el sonido reflejado que los mismos reciben a lo largo de las trayectorias 58, 62 a partir de la pared lateral 44 y el techo 46 respectivamente de lo que registran los mismos para el sonido que reciben a lo largo de una trayectoria directa 54 desde la unidad móvil 48 hasta el receptor 2. Si, por ejemplo, la unidad móvil 48 va a ser portada por una persona, se puede suponer razonablemente que la unidad móvil nunca se encontrará a más de 2 m por encima del suelo de la habitación, y la posición del receptor 2 sobre la pared posterior 42 y los ángulos de los micrófonos direccionales 12, 14 se pueden establecer en consecuencia para aumentar al máximo las capacidades de discriminación de intensidad de señal de los micrófonos direccionales 12, 14 en favor de los ecos de la pared lateral 44 y el techo 46 respectivamente a través de unas señales de trayectoria directa.

Si se puede suponer con seguridad, durante el uso, que un eco de interés siempre creará una señal más fuerte a partir de un micrófono direccional 12, 14 de lo que lo hará un sonido de trayectoria directa o un eco a partir de una superficie diferente de la de interés, o dos o más superficies, entonces se puede tomar el tiempo de recepción de la señal más fuerte dentro de una ventana de tiempo como el tiempo de recepción del eco de interés.

No obstante, incluso cuando una señal transmitida por la unidad móvil 48 que es recibida por el micrófono direccional izquierdo o derecho 12, 14 a lo largo de una trayectoria directa a partir de la unidad móvil 48 es más fuerte que el correspondiente eco de interés que se recibe a partir de la pared lateral 44 o el techo 46 respectivamente, el eco se recibirá en el receptor más tarde que el sonido de trayectoria directa y, por lo tanto, se puede seguir identificando como la señal de eco.

Además, se pueden usar las temporizaciones y/o las fases relativas de cada ráfaga de sonido (un sonido de trayectoria directa o un eco cualquiera) entre los diferentes micrófonos 12, 14, 20 para obtener información adicional acerca de la dirección desde la cual se recibe el sonido en el receptor. La utilidad de tal información se puede potenciar adicionalmente si se conoce información en relación con el patrón de sensibilidad direccional de cada uno de los micrófonos 12, 14, 20. Entonces, se pueden usar las intensidades (amplitudes) relativas de cada ráfaga de sonido en los diferentes micrófonos para deducir información adicional acerca de la dirección desde la cual se recibe el sonido. Esto se explica con mayor detalle en lo sucesivo en el presente documento.

El receptor 2, o unos medios de procesamiento en comunicación con el receptor, comprende un reloj y, por lo tanto, es apto para determinar los tiempos de llegada de la señal que se desplaza a lo largo de la trayectoria directa 54 desde la unidad móvil 48 hasta el micrófono omnidireccional 20.

La señal a partir de la unidad móvil 48 comprende al menos una, o preferiblemente más, señales que tienen una autocorrelación de pico elevado (por ejemplo, de tal modo que el pico de autocorrelación resultante después del procesamiento tiene una extensión temporal de 2 ms o menos).

Para cada uno de los canales de micrófono, el receptor 2, o unos medios de procesamiento asociados, realiza un proceso de filtro adaptado para hallar las señales de determinación de posición y/o de datos. El proceso de filtro adaptado consiste en una correlación cruzada de la señal de micrófono recibida con versiones de cuadratura de la totalidad de las señales de determinación de posición. Para añadir robustez a cualquier desplazamiento por efecto Doppler en las frecuencias de las señales recibidas debido al movimiento de la unidad móvil 48, estas correlaciones cruzadas se pueden realizar para cada una de diversas variantes desplazadas de forma diferente por efecto Doppler de las señales de determinación de posición conocidas. Para ayudar al proceso de identificación de ecos, las señales recibidas también se pueden someter a correlación cruzada entre sí usando un enfoque de cuadratura.

Para cada una de las señales sometidas a correlación cruzada que se procesan, se identifican los picos y se hallan las ubicaciones, las amplitudes y las derivadas de segundo orden de los mismos usando un mecanismo de descubrimiento de picos polinómicos de segundo orden con un tamaño de ventana adecuado. El instante de tiempo y la atenuación de los eventos de eco se pueden hallar entonces mediante la búsqueda de picos que tienen una amplitud y una agudeza (el valor absoluto de la segunda derivada) por encima de unos umbrales previamente determinados.

Si múltiples señales de determinación de posición son emitidas por la unidad móvil 48, los picos a partir de cada señal de determinación de posición se pueden comparar en busca de similitudes y combinarse con el fin de mejorar la identificación de ecos. Si se realiza una correlación cruzada para varias variantes del efecto Doppler, el filtro adaptado que se encuentra más próximo al desplazamiento por efecto Doppler verdadero mostrará el pico de correlación más alto y más agudo.

Se puede determinar una información de fase para las señales recibidas a partir de la relación de las componentes en cuadratura de una correlación cruzada en cuadratura. Esto se puede usar para determinar el tiempo de vuelo para una precisión a nivel de fase (por ejemplo, resolviendo por debajo de 17 mm para ultrasonidos de 20 kHz). No obstante, esto no funciona si hay unos desplazamientos por efecto Doppler grandes (por ejemplo,  $v/c > 4 \cdot 10^{-3}$ ) debido, por ejemplo, al movimiento rápido de la unidad móvil 48. Por lo tanto, en la presente realización se usa un

ajuste de pico de dos barridos en frecuencia antisimétricos. La unidad móvil 48 emite una señal de determinación de posición que consiste en dos barridos en frecuencia con signo opuesto de la tasa de barrido en frecuencia. A partir de esto, tanto el desplazamiento por efecto Doppler como el retardo de tiempo se pueden determinar de manera precisa tal como sigue.

5 Se emite en primer lugar una señal de barrido en frecuencia ascendente  $S_{c\uparrow}$  que tiene un barrido en frecuencia de frecuencia lineal creciente, seguido por una señal de barrido en frecuencia  $S_{c\downarrow}$  que tiene un barrido en frecuencia de frecuencia lineal decreciente (por supuesto, se podría invertir el orden de los barridos en frecuencia). Los dos barridos en frecuencia tienen una polaridad de tasa de barrido en frecuencia opuesta ( $C_{r\uparrow} = -C_{r\downarrow} = df / dt = f_{final} - f_{inicio} / T$ ) pero son, por lo demás, idénticos (siendo  $T_c$  la duración temporal de barrido en frecuencia, siendo  $f_{inicio}$  la frecuencia de inicio de barrido en frecuencia y siendo  $f_{final}$  la frecuencia final de barrido en frecuencia). Los barridos en frecuencia se transmiten con una separación de tiempo  $\Delta t_c$  que es mayor que o igual a la duración de barrido en frecuencia.

15 Usando un método de correlación cruzada en cuadratura para hallar la  $R_{xy}$  (señal de correlación cruzada) de los barridos en frecuencia conocidos con las señales de micrófono recibidas, los picos que se corresponden con las señales de barrido en frecuencia se pueden identificar a través de una selección por la amplitud de pico, la agudeza y, conociendo la separación de tiempo de barrido en frecuencia, su separación en el tiempo  $\Delta t_c$ . El uso de solo barridos en frecuencia lineales evita una pérdida drástica de correlación cuando las señales recibidas se desplazan por efecto Doppler. Además, el uso de una correlación cruzada en cuadratura da unas medidas de amplitud mucho más fiables.

Habiendo identificado los pares de pico para las señales de barrido en frecuencia ascendente y descendente para la totalidad de los ecos de las reflexiones relevantes, se pueden extraer la ubicación temporal, la amplitud y la agudeza de pico de las señales. Debido a que las señales recibidas pueden tener diferentes velocidades de efecto Doppler una con respecto a otra (debido a los diferentes ángulos de observación entre la trayectoria directa y las diversas trayectorias reflejadas posibles), se puede sesgar la información de temporización a partir de la correlación cruzada de los barridos en frecuencia. Esto se puede corregir usando las siguientes manipulaciones.

30 La diferencia en el tiempo de llegada entre las señales de barrido en frecuencia ascendente y descendente en las que se ha corregido su separación conocida en el tiempo es:

$$\frac{t_{\uparrow} - (t_{\downarrow} - \Delta t_c)}{2} = \left( \frac{f_c}{C_r} - \frac{\Delta t_c}{2} \right) (1 - \eta)$$

35 en la que  $f_c$  es la frecuencia central de las señales de barrido en frecuencia,  $C_r$  la tasa de barrido en frecuencia, y

$$\eta = 1 - \frac{v_s}{c_{sonido}}$$

40 el factor de efecto Doppler (siendo  $v_s$  la velocidad eficaz de la fuente con respecto al receptor y siendo  $c_{sonido}$  la velocidad del sonido en la habitación - la velocidad del sonido se puede aproximar por un valor constante, o se puede estimar basándose en unas mediciones de factores relevantes tales como la temperatura y la humedad, o determinarse de forma experimental al, póngase por caso, cronometrar un sonido a lo largo de una distancia conocida).

45 Debido a que  $f_c$ ,  $C_r$  y  $\Delta t_c$  son conocidos, los tiempos de llegada de las dos señales de barrido en frecuencia se pueden usar para calcular el factor de efecto Doppler. Obsérvese que esta medición es independiente de cualquier desviación de frecuencia que sea sufrida por la fuente (un problema conocido con muchos esquemas alternativos para obtener información de desplazamiento por efecto Doppler).

50 La suma del tiempo de llegada entre los dos barridos en frecuencia, en los que se ha corregido su separación conocida en el tiempo, es:

$$\frac{t_{\uparrow} + (t_{\downarrow} - \Delta t_c)}{2} = \frac{t_d}{\eta} + \Delta t_c \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

55 Por lo tanto, el retardo de tiempo verdadero de la señal,  $t_d$ , se puede hallar mediante el uso del factor de efecto Doppler medido que se ha estimado en lo que antecede. La precisión de temporización resultante es del orden de microsegundos.

Tal como que se ha mencionado previamente, se puede usar una información en relación con el ángulo de llegada (AOA, *angle of arrival*) de cada ráfaga de sonido (sonido de trayectoria directa o eco) para ayudar a resolver

cualquier ambigüedad en la determinación de desde qué superficie reflectante ha rebotado un eco. Esta se puede combinar también con una información de tiempo de llegada o de diferencia de tiempo de llegada para mejorar la precisión de la estimación de posición.

5 Se puede obtener una información de AOA al comparar las respuestas relativas de unos micrófonos direccionales y un micrófono omnidireccional. Para un pico que se identifica usando una correlación cruzada en un canal de guía de ondas  $k$ , se puede usar el pico correspondiente en un canal omnidireccional próximo como una referencia para calcular la relación de las amplitudes  $A_{km} = A_{wvgd-k} / A_{omni}$  para la  $m$  de pico.

10 Si los micrófonos de guía de ondas se construyen de tal modo que hay un solapamiento considerable en la sensibilidad espacial con el micrófono o micrófonos omnidireccionales y entre sí, el ángulo de llegada se puede estimar mediante la reducción al mínimo de la expresión del error:

$$\varepsilon_m = \sum_k (A_{km} - I(\phi - \phi_k, \theta - \theta_k))^2$$

15 en la que  $\Phi_k$  y  $\theta_k$  son los ángulos del eje principal de sensibilidad para una guía de ondas cónica  $k$ . Se requiere un mínimo de dos mediciones de relación para una fijación única del AOA.

20 Se puede calcular con gran precisión que la respuesta de un micrófono omnidireccional que está equipado con una guía de ondas cónica con una abertura de entrada circular de un diámetro  $a$  es (en coordenadas esféricas):

$$I(\phi, \theta) = G \frac{\text{sen}(k \text{asen}(\phi)) \text{sen}(k \text{asen}(\theta))}{k \text{asen}(\phi) k \text{asen}(\theta)}$$

25 en la que  $k$  es el vector de onda espacial  $2\pi f / c$ .

Las guías de ondas con sección transversal cuadrada, tales como la guía de ondas 12, se pueden aproximar mediante:

$$I(\phi, \theta) = G \frac{\text{sen}(k \text{asen}(\phi)) \text{sen}(k b \text{sen}(\theta))}{k \text{asen}(\phi) k b \text{sen}(\theta)}$$

30 en la que  $a$  y  $b$  son la dimensión de la sección transversal de entrada rectangular.

35 A pesar de que la posición de la unidad móvil se puede estimar usando la diferencia de tiempo de llegada (TDOA, *time difference of arrival*) de las señales a lo largo de la trayectoria directa 54, la trayectoria indirecta de pared lateral 56, 58, la trayectoria indirecta de techo 60, 62, y cualquier otra trayectoria para la cual unos micrófonos adecuados (que no se muestran) se encuentran en su lugar, se puede hacer un uso más eficiente de la información de tiempo de llegada si también se conoce el tiempo de transmisión a partir de la unidad móvil 48.

40 Para aprovechar esto, la unidad móvil 48 en la presente realización contiene un reloj y está dispuesta para comunicar el tiempo de transmisión de la señal acústica al receptor o a unos medios de procesamiento separados. Los medios de procesamiento separados pueden ser un servidor que mantiene el estado de los relojes a partir de cada unidad móvil (incluyendo valores estimados para la deriva de reloj); además, este puede atribuir, a cada unidad móvil, una ranura de tiempo para la transmisión de señales de ultrasonidos. Al momento de la recepción de una señal a partir de la unidad móvil 48 que contiene una marca de tiempo por la unidad móvil, la precisión del reloj de la unidad móvil se evalúa para determinar una estimación del tiempo real de transmisión. Esto se hace posible cuando haya más información que la mínima requerida para la determinación de posición. En esta disposición, una estimación de posición de TDOF precisa de la unidad móvil 48 permite que se actualice el reloj de la unidad móvil.

50 Como alternativa, la infraestructura puede comunicar el tiempo a la unidad móvil 48 (por ejemplo, a través de un canal de RF), que está dotada de unos medios para sincronizar su reloj con un reloj central. Además, a las unidades móviles se les puede atribuir una ranura de tiempo a partir del servidor central en la que transmitir sus señales sónicas.

55 Para determinar la posición del móvil 48, el tiempo de transmisión y los tiempos de llegada que se han mencionado en lo que antecede de la señal en el receptor 2 a lo largo de diversas trayectorias se usan en una forma modificada de trilateración tal como se explicará con referencia a la figura 6. Los cálculos de posición se realizan como si se proporcionaran dos 'receptores virtuales' 64, 68. El primer receptor virtual 64 está ubicado directamente por encima del receptor real 2, igual de lejos por encima del techo 46 que está el receptor 2 por debajo del mismo. Este es, en efecto, una reflexión del receptor 2 en el plano del techo 46.

60

De forma similar, el segundo receptor virtual 68 está ubicado a la misma altura que el receptor real 2 en el mismo plano que la pared posterior 42 e igual de lejos hacia la izquierda de la pared izquierda 44 que está el receptor 2 hacia la derecha de la misma. Este es, en efecto, una reflexión del receptor 2 en el plano de la pared izquierda 44.

5 Se apreciará que, para cualquier ubicación de la unidad móvil 48 dentro de la habitación, la distancia eficaz 60, 66 desde la unidad móvil 48 hasta el 'micrófono' 65 del primer receptor virtual 64 (que se corresponde con el micrófono direccional derecho 14 del receptor real 2) es exactamente igual a la longitud de trayectoria real total 60, 62 del sonido reflejado.

10 De forma similar, la distancia eficaz 56, 70, desde la unidad móvil hasta el 'micrófono' 69 del otro receptor virtual 68 (que se corresponde con el micrófono direccional izquierdo 12 del receptor real 2) es igual a la longitud de trayectoria real 56, 58.

15 Las posiciones de los receptores virtuales 64, 68 se pueden calcular simplemente a partir de la distancia del receptor real 2 con respecto a la pared 44 y el techo 46. A continuación de lo anterior, sus posiciones se pueden determinar de forma empírica mediante el uso de un transmisor de calibración que se coloca en una posición conocida en relación con el receptor.

20 Al tratar la señal ultrasónica a partir de la unidad móvil como que se recibe en los dos receptores virtuales 64, 68 así como en el receptor real, se puede realizar un cálculo de trilateración convencional tal como se describe en lo sucesivo.

25 La trilateración es un método de determinación de la posición relativa de un objeto usando la geometría de triángulos, la posición conocida de dos o más puntos de referencia y la distancia medida entre el objeto y cada punto de referencia. La posición del objeto en el espacio viene dada por la solución del problema de trilateración tridimensional, que se halla al tomar las ecuaciones de tres esferas y al igualar las mismas una con otra para hallar sus puntos de intersección.

30 Al representar la posición conocida de cada receptor virtual o real  $i$  (de forma más precisa, los micrófonos relevantes de cada uno) mediante las coordenadas espaciales  $x_i, y_i, z_i$ , y sean  $x, y, z$  las coordenadas de la unidad móvil 48, la distancia desde la unidad móvil 48 hasta cada receptor  $i$  viene dada por:

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

35 La velocidad del sonido  $v$  en el aire es de aproximadamente  $331,4 + 0,6 T_c$  m/s, en la que  $T_c$  es la temperatura del aire en grados Celsius, la cual se puede medir mediante un termómetro en el receptor o en cualquier otra parte. Debido a que

$$v = \frac{d_i}{t_i - t_0},$$

40 en la que  $t_0$  es el tiempo conocido de transmisión del sonido a partir de la unidad móvil 48 y  $t_i$  es el tiempo de llegada conocido del sonido en el receptor  $i$ , para cada receptor  $i$  se cumple lo siguiente:

$$\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \approx (t_i - t_0) \times (331,4 + 0,6 \times T_c)$$

45 Las únicas incógnitas son  $x, y, z$ , las coordenadas de la unidad móvil 48. Debido a que hay un receptor real y dos receptores virtuales, hay tres ecuaciones independientes de este tipo y, por lo tanto, las tres incógnitas  $x, y, z$  se pueden determinar con facilidad. A pesar de que, por lo general, hay dos puntos de intersección entre tres esferas cualesquiera que se solapan, no solo uno, debido a que el receptor 2 está montado sobre la pared posterior 42 de la habitación (y los receptores virtuales 64, 68 se encuentran en el mismo plano que la pared posterior 42), solo uno de los puntos de intersección se hallará dentro de la habitación, por lo tanto la solución correcta se identifica con facilidad.

55 Así como la unidad móvil 48 que emite señales para una determinación de posición, se pueden usar señales a partir de la unidad móvil para transmitir datos al receptor. Estos podrían ser, por ejemplo, un código de identidad, una información de estatus o, de hecho, cualquier otra información según se requiera. La información se puede codificar usando unas señales que tienen, preferiblemente, una baja correlación cruzada con las señales de determinación de posición, así como entre sí. Las propias señales de datos también podrían tener una autocorrelación de pico elevado, de tal modo que estas también se puede usar para eventos de determinación de posición.

60

Una posibilidad es que, póngase por caso, se usen barridos en frecuencia ascendente y descendente lineales para la medición de determinación de posición y de desplazamiento por efecto Doppler, pero que posteriormente se use una FSK de tono único para enviar datos. A pesar de que es simple de codificar y de descodificar, una desventaja de un esquema de este tipo es que existe una correlación cruzada considerable entre las señales de datos y los barridos en frecuencia de determinación de posición, en concreto cuando entran en juego ecos fuertes. Esto puede hacer más difícil la identificación de los picos en una correlación cruzada con las señales de barrido en frecuencia que pertenecen a ecos genuinos. No obstante, esto se puede mitigar mediante la transmisión de la señal de determinación de posición y los datos en dos bandas de frecuencia que no se solapan; por ejemplo, de 35 - 39 kHz para el barrido en frecuencia y de 39 - 45 kHz para los datos.

En este sistema, los ecos genuinos se pueden separar de otros picos mediante la realización de unas correlaciones cruzadas separadas para las señales de barrido en frecuencia ascendente y descendente, y la identificación de picos similares que están desplazados la misma separación de tiempo que los dos barridos en frecuencia emitidos. Los picos son similares si tanto la amplitud como la agudeza de pico tienen unos valores similares.

Un posible criterio que se puede aplicar en este contexto es

$$a \left| \frac{A_{\uparrow} - A_{\downarrow}}{A_{\uparrow} + A_{\downarrow}} \right| + (1 - a) \left| \frac{S_{\uparrow} - S_{\downarrow}}{S_{\uparrow} + S_{\downarrow}} \right| < \textit{umbral}$$

en la que A es la amplitud de pico y S es la agudeza de los picos asociados del barrido en frecuencia ascendente y descendente, mientras que a es un factor de ponderación entre 0 y 1.

No obstante, este enfoque sigue siendo propenso a falsas detecciones de eco y una solución más rigurosa es la sustitución de los tonos singulares con unas señales de barrido en frecuencia que tienen una autocorrelación de pico elevado y una baja correlación cruzada. Entonces, estos mismos barridos en frecuencia se podrían usar tanto para la determinación de posición como para la transmisión de datos. Mediante el uso de un conjunto finito de posibles barridos en frecuencia, se pueden lograr las dos funciones de realización de correlación cruzada (lo que requiere un conocimiento de la señal que está siendo enviada) y de transmisión de datos en la que los datos se codifican en la secuencia de barridos en frecuencia. Estos barridos en frecuencia pueden ser unos barridos en frecuencia lineales tal como se ha descrito previamente pero, como alternativa, pueden ser de un tipo de espectro ensanchado.

En el receptor 2, u otros medios de procesamiento, las señales se pueden detectar usando una correlación cruzada de filtro adaptado con el número finito de barridos en frecuencia que se usan en el esquema de señalización. No obstante, el aumento del desplazamiento por efecto Doppler da como resultado un deterioro gradual de la señal de autocorrelación. Esto se puede abordar mediante la realización de una correlación cruzada de la señal recibida con versiones desplazadas por efecto Doppler de los barridos en frecuencia que se usan en el esquema de señalización, pero esto supone una exigencia desde el punto de vista del cálculo.

Por lo tanto, en la presente realización, en lugar de usar FSK para la comunicación de datos, se usan barridos en frecuencia ascendente y descendente lineales para las mediciones de determinación de posición y de desplazamiento por efecto Doppler, y también se usan barridos en frecuencia, con una autocorrelación de pico elevado y una baja correlación cruzada, para la comunicación de datos. Los barridos en frecuencia lineales se pueden usar entonces para determinar las plantillas de correlación cruzada y de desplazamiento por efecto Doppler, y los barridos en frecuencia de datos que se reciben en el receptor 2 se pueden corregir entonces por medio de una operación de desplazamiento matricial en el dominio de la frecuencia para corregir el desplazamiento por efecto Doppler.

Preferiblemente, por lo tanto, la unidad móvil 48 está dispuesta para emitir una señal de determinación de posición seguida (o precedida) por su identidad, tal como un número de serie, que se codifica usando tonos sometidos a barrido en frecuencia.

Debido a que puede haber circunstancias en las que no es posible que el receptor 2 descodifique la señal de datos (cuando, por ejemplo, la unidad móvil 48 está oculta por detrás de un objeto en la habitación, y el patrón de ecos es, por lo tanto, muy complejo), la unidad móvil 48 está dispuesta adicionalmente para emitir su identidad a través de un protocolo más básico y más lento, tal como FSK a una tasa lenta, para permitir que el receptor 2 recurra a la descodificación del mensaje más lento con el fin de determinar al menos qué unidades móviles se encuentran en la habitación (incluso si no se pueden determinar sus ubicaciones).

Los esquemas de comunicación convencionales para la comunicación por ultrasonidos adolecen de unos efectos de interferencia que son causados por unas señales de eco que se originan a partir de las superficies reflectantes principales en un entorno interior. Un enfoque para obtener una comunicación robusta es la adopción del esquema de transmisión de tal modo que las señales de eco se han reducido para el momento en el que se vuelve a enviar un tono. No obstante, esto da como resultado unas velocidades de comunicación relativamente bajas (por ejemplo, 50 - 200 bits/s).

En su lugar, usando las señales de barrido en frecuencia que se han descrito en lo que antecede para identificar la atenuación y el retardo de eco, las señales de eco, lejos de ser un impedimento a la comunicación, se pueden agregar y usar para ayudar a recuperar la señal  $X(t)$  que es emitida por la unidad móvil. Supóngase que la señal detectada contiene  $m$  picos de correlación significativos que resultan de  $m$  trayectorias diferentes que son tomadas por la señal. Para cada uno de los picos, se obtiene la atenuación  $K_m$  y la ubicación temporal precisa en fase  $T_m$ . A partir de estas, la función de transferencia eficaz del canal de transmisión de señales de barrido en frecuencia se puede obtener como una función de la frecuencia:

$$H_{chan}(\omega) = \sum_m K_m e^{-j\omega\tau_m}$$

Si la señal de datos se transmite en una proximidad temporal inmediata al barrido o barridos en frecuencia a partir de los cuales se construye el modelo de canal (es decir, mientras que la posición y la velocidad de la unidad móvil 48, y de otros objetos en la habitación, permanece sustancialmente sin alteraciones), se puede usar la misma función de transferencia para recuperar la señal de datos que es enviada por la unidad móvil:

$$X(\omega) = \frac{Y(\omega)}{H_{chan}(\omega)}$$

en la que  $Y$  es la señal recibida.

Transformando la señal de vuelta al dominio del tiempo, se puede analizar la señal  $X(t)$  y se pueden recuperar los datos transmitidos.

Este método depende fuertemente de una alta precisión de la estimación de los tiempos de retardo (mejor que 0,05 pi). Además, el método fallará para los ecos que se desplazan por efecto Doppler uno con respecto a otro, si no se emprende medida correctiva alguna. Por lo tanto, puede resultar atrayente la realización de una agregación de eco en un dominio que depende menos de la precisión de fase y de la corrección de efecto Doppler.

Por lo tanto, la presente realización usa el dominio de la STFT (*short time Fourier transform*, transformada de Fourier de tiempo corto), en la que se ha eliminado toda la información de fase. Las formas de STFT de las señales que se han descrito en lo que antecede se pueden ver como matrices con el índice de filas correspondiéndose con la frecuencia discreta ( $i$ ) y el índice de columnas ( $j$ ) con el desplazamiento de tiempo discreto  $t_{desplazamiento}$ . El desplazamiento de tiempo de STFT  $t_{desplazamiento}$  se debería elegir de tal modo que las señales recibidas se puedan considerar como cuasiestacionarias a lo largo de este periodo de tiempo. La señal recibida en el dominio de STFT  $Y_{kj}$  se puede ver como que comprende unas copias desplazadas en el tiempo y atenuadas de la señal original  $X_{ij}$ . La matriz  $Y_{kj}$  se ha rellenado de forma simétrica con filas de ceros para mantener la correspondencia entre el índice de filas  $k$  y el índice de frecuencia  $i$ . Por lo tanto, la forma de STFT de la función de transferencia para  $m$  ecos con un factor de atenuación  $K_m$  adopta la forma:

$$H_{ki} = \begin{pmatrix} K_1 & 0 & \dots & & 0 \\ 0 & K_1 & & & \vdots \\ \vdots & & K_1 & & \vdots \\ & & & K_1 & 0 \\ \vdots & & & & K_1 \\ 0 & \dots & & & \\ K_m & & & & \\ \vdots & K_m & & & \\ & & K_m & & \vdots \\ \vdots & & & K_m & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & K_m \end{pmatrix}$$

40

Dicho de otra forma, esta adopta la forma de matrices identidad que son multiplicadas por los coeficientes de atenuación  $K_m$  y están desplazadas en el tiempo por el índice de filas de tiempo discreto que viene dado por:

$$k_m = \frac{\tau_m}{t_{\text{desplazamiento}}}$$

Los valores fraccionarios de  $k$  se pueden aproximar mediante una interpolación de dos puntos en la matriz. Por lo tanto, la matriz  $H_{ki}$  se puede construir después de que se hayan determinado la totalidad de las ubicaciones de atenuación y de eco. Al tomar la pseudo-inversa o inversa de la matriz  $H_{ki}^{-1}$ , se puede obtener una buena estimación de la señal que es originalmente transmitida por la unidad móvil 48:

$$X_{ij} = H_{ki}^{-1} Y_{kj}$$

Por lo tanto, el enfoque que se ha descrito en lo que antecede usa la identificación precisa de los retardos y los factores de atenuación de todos los ecos significativos a partir de unas señales de caracterización de canal, tales como barridos en frecuencia. Esta información se usa entonces para construir un modelo de canal de comunicación en la forma de una matriz de tiempo - frecuencia discreta  $H$ , que se puede usar para agregar ecos que se solapan en la señal de canal recibida y recuperar, de ese modo, la señal transmitida original en un formato de tiempo - frecuencia discreto. Se emprende entonces una descodificación convencional de la señal recuperada en el dominio del tiempo - frecuencia, usando un enfoque apropiado para el esquema de codificación de señal seleccionado, con el fin de extraer los datos comunicados.

Las mediciones del factor de atenuación de eco  $K_m$  se pueden ver deterioradas por la presencia de múltiples ecos en la señal  $Y(t)$ . En este caso, el procedimiento de inversión en lo que antecede se puede usar para obtener una primera estimación de  $X_{ij}$  y los factores  $K_m$  se pueden ajustar de forma iterativa para reducir al mínimo la función de error:

$$\varepsilon = (Y_{kj} - H_{ki} X_{ij})^2$$

Como alternativa, se puede reducir al mínimo la autocorrelación de  $X_{ij}$ , o alguna otra función de error que incorpora conocimiento anterior acerca del esquema de comunicación.

Este método se puede ampliar para representar múltiples canales de micrófono mediante la concatenación de las señales de canal adicionales con la matriz  $Y_{kj}$ , introduciendo un índice adicional para cada canal  $c$  dando  $Y_{kj}^c$ . Las características de eco para el canal  $c$  que se determinan a partir de la señal de determinación de posición inicial se concatenan de forma similar con la matriz  $H_{ki}$  dando como resultado  $H_{ki}^c$ . A continuación, la señal original común se puede recuperar mediante inversión:

$$X_{ij} = H_{ki}^{c-1} Y_{kj}^c$$

Será apreciado por el experto en la materia que, en otras realizaciones, el método en lo que antecede se puede adaptar para usar transformadas de tiempo - frecuencia alternativas tales como la transformada de Gabor, de ondícula, etc. Tales transformadas pueden ofrecer una mejor resolución de tiempo - frecuencia y pueden ser invertibles, pero potencialmente suponen una mayor exigencia desde el punto de vista del cálculo. La inversión de la señal  $X_{ij}$  permite el cálculo de la señal (de correlación cruzada) de  $R_{xy}$  y puede dar como resultado una identificación más precisa de la ecolocación y de los factores de atenuación. Este enfoque también se puede emplear de una forma iterativa para llegar a una estimación mejorada de  $X_{ij}$ . Como alternativa, la compensación de eco se puede realizar en el dominio de la frecuencia.

La figura 7 muestra una distribución esquemática que muestra el receptor 2 en el contexto de una red grande 74. El cableado de Alimentación a través de Ethernet 76 conecta el receptor 2 con un procesador central 72 y con tres receptores adicionales 78, 80, 82. Este cableado distribuye paquetes tanto de alimentación eléctrica como de comunicación entre los diversos componentes. Los receptores adicionales 78, 80, 82 son aproximadamente idénticos al primer receptor 2, tal como se ha descrito en lo que antecede. Uno o más de los mismos pueden estar ubicados en la misma habitación que la primera unidad 2, o bien separados de la primera unidad pero más que el alcance de transmisión acústica de la unidad móvil 48 con el fin de cubrir de forma independiente una parte diferente de la habitación, o bien en cooperación con la primera unidad 2 con el fin de proporcionar una mayor precisión cuando se determina la posición de la unidad móvil 48. Como alternativa, cada uno de los receptores 2, 78, 80, 82 puede estar ubicado en su propia habitación.

Uno de los receptores 82 está conectado por medio de un enlace serie de tipo RS-485 a una unidad de micrófono de satélite digital 84. Esta unidad de satélite comprende un micrófono omnidireccional y dos micrófonos direccionales al

igual que en el primer receptor 2, pero la misma no contiene la mayor parte del conjunto de circuitos de temporización, de memoria y de procesamiento de los receptores; en su lugar, esta está dispuesta para digitalizar las salidas eléctricas de los transductores de micrófono y enviar las sustancialmente no procesadas al receptor conectado 82. Debido a que una unidad de micrófono de satélite digital 84 es más simple y, por lo tanto, más económica que un receptor, se puede obtener una cobertura adicional de una habitación o de una serie de habitaciones con un menor coste a través del uso de estas unidades de satélite de lo que sería el caso si fuera necesario que se usaran, en cada caso, los receptores principales.

Además, el receptor principal 2 puede tener opcionalmente una entrada para una conexión cableada con una unidad de micrófono analógico externa (que no se muestra). Las señales eléctricas analógicas procedentes del transductor de la unidad externa se envían por el hilo hasta el receptor principal 2. Una unidad de micrófono analógico externa de este tipo se puede fabricar de una forma más económica incluso que la unidad de micrófono de satélite digital 84; no obstante, puede que se requiera un soporte físico de analógico a digital adicional en el receptor principal 2 para soportar una conexión de este tipo.

El procesador central 72 puede recibir unas salidas de transductor acústicas digitalizadas sin procesar a partir de los receptores conectados 2, 78, 80, 82, o bien en tiempo real sin información de temporización alguna (por ejemplo, cuando los receptores no tienen relojes internos), o bien con una marca de tiempo dada por los receptores. Como alternativa, los receptores pueden analizar las salidas de transductor para determinar los tiempos de llegada de la señal o señales a partir de la unidad móvil 48 y cualquier otra unidad móvil de acuerdo con la invención y pueden pasar estos tiempos al procesador central. En aún otra alternativa, los receptores pueden ejecutar un algoritmo de determinación de posición, tal como el esquema de trilateración modificada que se ha descrito en lo que antecede, y enviar las coordenadas de posición de la unidad móvil 48 al procesador central 72. Se apreciará que la división del trabajo entre los receptores y el procesador central 72 no es un rasgo distintivo esencial de la invención y puede depender de factores tales como las capacidades de procesamiento de los diversos componentes y la velocidad de las conexiones de red entre los mismos.

El procesador central 72 comprende unos medios de visualización 73 y unos medios de entrada 75. Por medio de las capacidades de determinación de posición de los receptores 76, 78, 80, 82 y el propio procesador central 72, el proceso central 72 es apto para realizar un seguimiento del paradero de la unidad móvil 48 y, opcionalmente, de muchas otras unidades móviles similares de este tipo. Este puede visualizar de forma gráfica el paradero en un modelo bi- o tridimensional del entorno en el que está ubicada la unidad móvil. Un usuario humano (que no se muestra) puede interactuar con el procesador central 72 por medio de los medios de entrada 75 con el fin de determinar la ubicación de cualquier unidad móvil particular.

La unidad móvil 48 podría estar dispuesta para transmitir de forma periódica una señal de ultrasonidos, por ejemplo, cada minuto, y/o esta se puede disponer para responder con una señal de ultrasonidos a una señal de sondeo, por ejemplo, a partir del receptor 2 que, por lo tanto, podría tener un transmisor de RF o de ultrasonidos.

Tal como se ha mencionado en lo que antecede, las distancias de los tres receptores 12, 14, 20 con respecto a la pared 44 y el techo 46 simplemente pueden medirse pero, si se requiere más precisión, el receptor 2 puede llevar a cabo opcionalmente un método de autocalibración. En este método, el receptor transmite una señal acústica de calibración hacia la habitación a partir de un transductor acústico que podría, por ejemplo, ser el del micrófono omnidireccional 20. El receptor 2 recibe entonces los ecos de esta señal acústica reflejada a partir de las diversas superficies reflectantes en la habitación. Al medir el retardo entre la transmisión de la señal de calibración y su recepción en el micrófono omnidireccional 20 y los micrófonos direccionales 12, 14, y al procesar estas de forma apropiada, se pueden determinar o refinar las posiciones relativas de las superficies reflectantes y el receptor 2. Por ejemplo, la trayectoria de la señal acústica que se desplaza desde el receptor 2 hasta la pared izquierda 44 y de vuelta al receptor 2 es sustancialmente dos veces la longitud de la distancia perpendicular del receptor 2 con respecto a la pared izquierda; por lo tanto, el conocimiento del tiempo de desplazamiento del sonido a lo largo de esta trayectoria permite que la distancia perpendicular se calcule de una forma muy sencilla.

Por lo tanto, se observará a partir de la realización que se ha descrito en lo que antecede que se puede obtener una determinación precisa de la posición de una unidad móvil dentro de una habitación mediante el uso de una información de temporización de unas señales acústicas reflejadas a partir de los objetos dentro de la habitación. Además, esto se puede lograr usando solo una unidad autónoma única que es simple y económica de instalar y que incluso se puede calibrar a sí misma.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de determinación de la posición de una unidad móvil (48) dentro de una zona de detección que comprende:
- 5 emitir una señal acústica a partir de la unidad móvil;  
 recibir dicha señal acústica a lo largo de una primera trayectoria (54) a partir de la unidad móvil;  
 recibir un eco (58) de dicha señal acústica después de la reflexión a partir de una superficie (44) dentro de dicha zona de detección;
- 10 determinar el tiempo de llegada en un primer transductor (20) de la señal acústica a lo largo de dicha primera trayectoria;  
 determinar el tiempo de llegada del eco en un segundo transductor (12); y  
 determinar la posición de la unidad móvil dentro de la zona de detección a partir de dichos tiempos de llegada,
- 15 caracterizado por que el primer transductor está optimizado para la recepción de la señal de primera trayectoria, y el segundo transductor está optimizado para la recepción del eco.
2. Un método según la reivindicación 1, en el que la primera trayectoria (54) es una trayectoria directa.
- 20 3. Un sistema de determinación de posición que comprende una unidad móvil (48), un receptor (2) que tiene una pluralidad de transductores (20, 12, 14) independientes y unos medios de procesamiento, estando ubicada la unidad móvil dentro de una zona de detección, en el que:
- 25 la unidad móvil está dispuesta para emitir una señal acústica;  
 el receptor está dispuesto para recibir dicha señal acústica a lo largo de una primera trayectoria (54) a partir de la unidad móvil y para recibir un eco (58) de dicha señal acústica después de la reflexión a partir de una superficie (44) dentro de dicha zona de detección; y  
 los medios de procesamiento están dispuestos para determinar el tiempo de llegada de la señal acústica a lo largo de dicha primera trayectoria, para determinar el tiempo de llegada del eco y para determinar la posición de
- 30 la unidad móvil dentro de la zona de detección a partir de dichos tiempos de llegada,
- caracterizado por que un primero de los transductores de receptor (20) está optimizado para la recepción de la señal de primera trayectoria, y un segundo de los transductores de receptor (12) está optimizado para la recepción del eco.
- 35 4. Un sistema de determinación de posición según la reivindicación 3, en el que dicho segundo transductor (12) tiene una sensibilidad direccional mayor que la de dicho primer transductor (20).
- 40 5. Un sistema de determinación de posición según la reivindicación 4, en el que el primer transductor (20) comprende un micrófono omnidireccional.
6. Un sistema de determinación de posición según la reivindicación 4 o 5, en el que el segundo transductor (12) comprende un micrófono direccional, o un micrófono omnidireccional con una guía de ondas (24) o un apantallamiento para añadir directividad.
- 45 7. Un sistema de determinación de posición según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que el primer transductor (20) no tiene ángulo de valor mitad alguno o tiene un ángulo de valor mitad mayor que el del segundo transductor (12).
- 50 8. Un sistema de determinación de posición según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que el segundo transductor (12), o una parte del mismo, es móvil con el fin de permitir que se ajuste su eje direccional.
9. Un sistema de determinación de posición según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en el que el primer transductor (20) es un micrófono y en el que la pluralidad de transductores comprende una pluralidad de micrófonos (12, 14), además del primer transductor (20), teniendo cada uno una directividad relativamente mayor que la de dicho primer transductor (20).
- 55 10. Un sistema de determinación de posición según la reivindicación 9, en el que los ejes direccionales de dichos micrófonos relativamente direccionales (12, 14) son mutuamente no paralelos.
- 60 11. Un sistema de determinación de posición según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 10, en el que los medios de procesamiento están configurados para usar la intensidad de señal y el tiempo de llegada de un eco recibido (58) para identificar la superficie (44) a partir de la cual se origina el eco.

12. Un sistema de determinación de posición según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 11, en el que los medios de procesamiento están configurados para estimar el ángulo de llegada de la señal a partir de la unidad móvil (48) en un receptor (2).
- 5 13. Un sistema de determinación de posición según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 12, en el que los medios de procesamiento están dispuestos para llevar a cabo una etapa de calibración automática en la que los medios de procesamiento adquieren una información en relación con la ubicación de la superficie (44) y/o un receptor (2) mediante la recepción de una señal acústica.
- 10 14. Un sistema de determinación de posición según la reivindicación 13, en el que la señal acústica de calibración es emitida por el receptor (2).
- 15 15. Un receptor (2) para su uso en un sistema para determinar la posición de una unidad móvil (48) dentro de una zona de detección, comprendiendo el receptor una pluralidad de transductores (20, 12, 14) independientes; estando dispuesto para recibir una señal acústica a lo largo de una primera trayectoria (54) a partir de la unidad móvil y para recibir un eco (58) de dicha señal acústica después de la reflexión a partir de una superficie (44) dentro de dicha zona de detección; y comprendiendo unos medios de procesamiento que están dispuestos para determinar el tiempo de llegada de la señal acústica a lo largo de dicha primera trayectoria, para determinar el tiempo de llegada del eco y para determinar la posición de la unidad móvil dentro de la zona de detección a partir de dichos tiempos de llegada, caracterizado por que un primero de los transductores (20) está optimizado para la recepción de la señal de primera trayectoria, y un segundo de los transductores de receptor (12) está optimizado para la recepción del eco.
- 20

Fig.1.

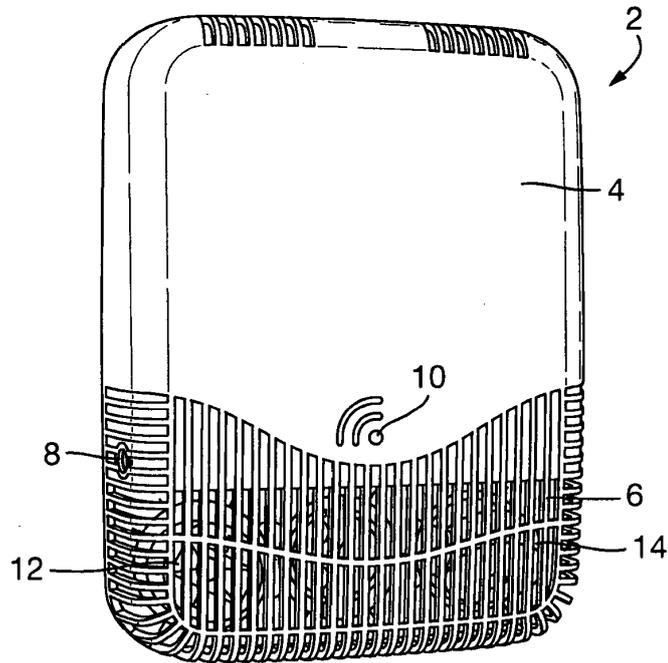


Fig.2.

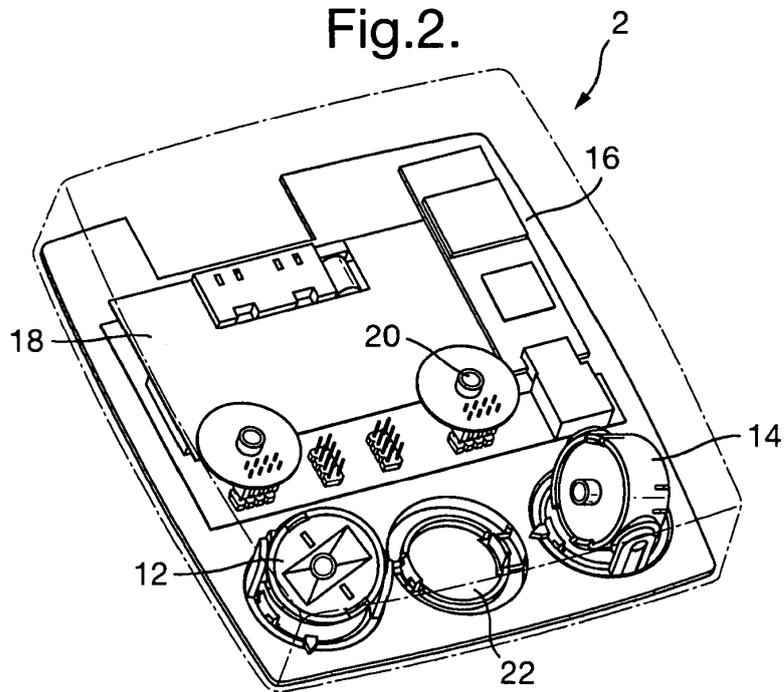


Fig.3.

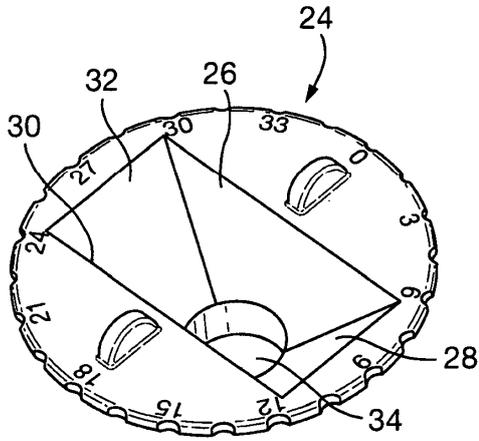


Fig.4.

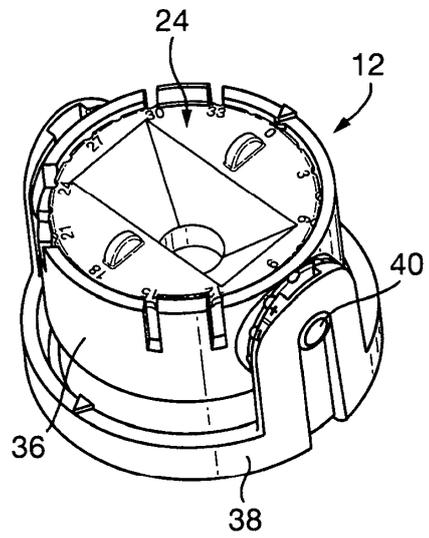


Fig.5.

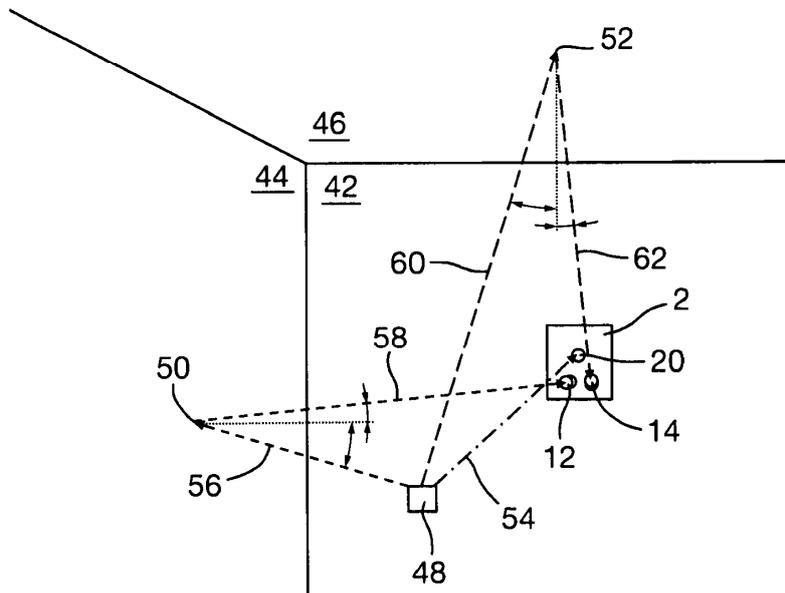




Fig.7.

