

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 919 080**

21 Número de solicitud: 202130032

51 Int. Cl.:

**G01S 5/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

21.01.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

21.07.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

05.09.2022

Fecha de concesión:

18.01.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

25.01.2023

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (100.0%)**  
**Plaza de San Diego, s/n**  
**28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GUALDA GÓMEZ, David;**  
**UREÑA UREÑA, Jesús;**  
**HERNÁNDEZ ALONSO, Álvaro;**  
**VILLADANGOS CARRIZO, José Manuel;**  
**GARCÍA DOMÍNGUEZ, Juan Jesús;**  
**JIMÉNEZ MARTÍN, Ana y**  
**PÉREZ RUBIO, María del Carmen**

54 Título: **EMPLEO DE SUMA DE TONOS ULTRASÓNICOS A DIFERENTES FRECUENCIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA POSICIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES**

57 Resumen:

En la presente invención, empleo de sumas de tonos ultrasónicos a diferentes frecuencias para la estimación de la posición de dispositivos móviles, se propone el empleo de dicha suma de tonos emitidos por varios transductores con el objetivo de estimar la posición de dispositivos móviles comerciales (Smartphones, Tablets, Smartwatch, etc.) a partir de la recepción de la información a la frecuencia resultante de la diferencia entre las frecuencias utilizadas por cada emisor. Se aprovecha un efecto de no linealidad que se genera en la parte de amplificación de los circuitos receptores de audio de los dispositivos móviles, detectándose la información en la frecuencia que resulta de la resta entre frecuencias de la suma de los tonos emitidos por cada emisor. Detectando patrones relacionados con el uso de esta frecuencia resultante se identifican los instantes de llegada de las emisiones de cada transductor para posteriormente estimar la posición del dispositivo móvil.

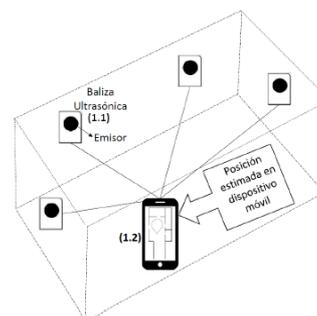


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

**DESCRIPCIÓN****EMPLEO DE SUMA DE TONOS ULTRASÓNICOS A DIFERENTES FRECUENCIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA POSICIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES**

5

**SECTOR DE LA TÉCNICA**

La invención pertenece al área técnica de la tecnología electrónica y las comunicaciones. Dentro de esta área, y atendiendo a su aplicación, se encuadra en el campo de sistemas sensoriales acústicos.

10

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los primeros sistemas de posicionamiento ultrasónicos que se propusieron datan de finales de los años noventa y principios de los 2000, siendo el sistema *Cricket* [N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan. *The Cricket location-support system*. En Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 32-43, Boston (Estados Unidos), 2000] desarrollado por el MIT (Massachusetts Institute Technology) el sistema de posicionamiento ultrasónico de referencia en dicha época. La estructura de este tipo de sistemas está formada, generalmente, por diversos emisores acústicos (también denominados balizas o transductores) que emiten una señal ultrasónica inaudible para las personas (frecuencias iguales o superiores a 20 kHz) y que posteriormente es recibida a través de micrófonos sensibles a dichas frecuencias para ser después procesadas por una unidad de procesamiento (normalmente un ordenador). Para determinar la posición de cada micrófono, se identifican los instantes de llegada de la señal de cada transductor y se calculan los tiempos de vuelo (TOA, *Time of Arrival*) o la diferencia de tiempos vuelo (TDOA, *Time Difference of Arrival*) dependiendo de si existe o no sincronización entre los emisores y el receptor. La sincronización implica el conocimiento del instante en que se transmiten las señales; para sincronizar normalmente se utilizan señales de radio frecuencia, debido a su alta velocidad con respecto al sonido. Tras la medida de tiempos de vuelo o diferencias de tiempos de vuelo, se estiman las distancias o diferencias de distancias, según corresponda, para posteriormente determinar la posición del micrófono resolviendo el sistema de ecuaciones no lineal del conjunto de distancias o diferencia de éstas (se utiliza cualquier método de resolución de ecuaciones no lineales, aunque el más utilizado es el conocido como Gauss Newton).

35

Desde la aparición del sistema *Cricket*, a lo largo de la última década han surgido otros sistemas de posicionamiento ultrasónicos que mejoran ciertos aspectos del uso de esta tecnología para estimar la posición de micrófonos en interiores con precisiones centimétricas o incluso sub-centimétricas. El sistema *Dolphin* [M. Hazas, A. Ward. *A novel broadband ultrasonic location system*, en Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp), pp. 264-280, 2002] fue uno de los primeros en incorporar codificación en las emisiones de los transductores, de manera que al simultanear las emisiones utilizando códigos con ciertas propiedades de correlación, se reduce el ruido debido a la interferencia entre las señales de los transductores, con la consecuente mejora en la detección de dichas señales y la estimación de la posición del receptor. El sistema *Dolphin* empleaba códigos *Gold* [R. Gold. *Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing*. IEEE Transactions on Information Theory. 3(4): 619-649, May 1990], que son muy utilizados en el campo de las telecomunicaciones y navegación por satélite (por ejemplo, son usados en el sistema GPS, *Global Positioning System*). Otras propuestas utilizan diferentes secuencias, como el sistema *3D-LOCUS* [J. C. Prieto, A. R. Jiménez, J. I. Guevara. *Subcentimeter-accuracy localization through broadband acoustic transducers*. En Proc. of the IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP), pp. 1-6, 2007] que hace uso de códigos Golay [M. J. E. Golay. *Complementary series*. IRE Transactions on Information Theory, pp. 82-87, 1961] con los que reportan precisiones sub-centimétricas en la estimación de la posición del receptor, o en el sistema propuesto por [J. Ureña, A. Hernández, A. Jiménez, J. M. Villadangos, M. Mazo, J. C. García, F. J. Álvarez, C. De Marziani, M. C. Pérez, A. R. Jiménez, F. Seco. *Advanced sensorial system for an acoustic LPS*. Microprocessors and Microsystems 31(6): 393-401, 2007], que se utilizan códigos Kasami [T. Kasami. *Weight distribution formula for some class of cyclic codes*. Combinational Mathematics and its Applications, Chapel Hill, University of North Carolina Press, 1969] para codificar las emisiones de las balizas, que emiten de forma simultánea, reportando precisiones centimétricas.

Desde la aparición de los *Smartphones* y las *Tablets* han surgido trabajos que proponen la aplicación de sistemas de posicionamiento acústicos para estimar la posición de dichos dispositivos, como alternativa a la estimación de posición mediante WiFi, cuya aplicación más extendida es la desarrollada por Google [Official Google Blog, <https://googleblog.blogspot.com/2011/11/new-frontier-for-google-maps-mapping.html>, último acceso en Enero de 2020], disponible en algunos entornos interiores extensos como aeropuertos, grandes centros comerciales y otros edificios públicos (hospitales, universidades, etc.). La principal ventaja del uso de señales acústicas frente a las de

radiofrecuencia es la precisión centimétrica, lo que permite desarrollar posibles aplicaciones y servicios de localización orientados a *Smartphones* que requieran de esta precisión. Con el uso de señales WiFi, las precisiones son del orden de metros, con una alta incertidumbre, pero con mayor cobertura que con el uso de señales acústicas. Algunos trabajos destacados de los últimos años que utilizan *Smartphones* para capturar señales acústicas y medir distancias o determinar la posición del dispositivo móvil son: el sistema *BeepBeep* [C. Peng, G. Shen, Y. Zhang, Y. Li, K. Tan. *BeepBeep: A High Accuracy Acoustic Ranging System using COTS Mobile Devices*. En Proc. of the 5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 1-14, Sydney, 2007], en el que se estima la medida relativa entre dos dispositivos móviles que emiten una señal de alta frecuencia, pero dentro del espectro audible; El sistema desarrollado en [P. Lazik, A. Rowe. *Indoor Pseudo-ranging of Mobile Devices using Ultrasonic Chirps*. En Proc. of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, pp. 99-112, 2012], que utiliza señales acústicas moduladas entre 19 kHz y 23 kHz, que son detectadas por los dispositivos móviles; o el sistema [T. Aguilera, J. A. Paredes, F. J. Álvarez, J. I. Suárez, A. Hernández. *Acoustic Local Positioning System Using an iOS device*. En Proc. of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-5, Montbeliard, 2013] que modula las señales acústicas a frecuencias cercanas al límite inferior ultrasónico (20 kHz) para estimar la posición de un dispositivo Apple. Otra propuesta más reciente puede encontrarse en [J. Oh, and J. Um. *Acoustic Signal-Based Indoor Global Coordinates System for Smartphones*. IEEE Sensors Journal 18(8): 3248–3254, 2018], que hace uso de una estructura lineal compuesta por tres transductores que emiten frecuencias ultrasónicas de baja frecuencia que son detectadas por los dispositivos portables. Todos estos trabajos con dispositivos móviles que se han descrito anteriormente presentan el denominador común de trabajar a frecuencias muy cerca del límite inferior ultrasónico, además de utilizar un ancho de banda estrecho. Esto es debido a diversas restricciones existentes en la gran mayoría de *Smartphones* actuales: por un lado presentan una frecuencia máxima de muestreo de 44.1 kHz, por lo que la frecuencia máxima que puede ser procesada digitalmente es la mitad de dicha frecuencia de muestreo; y por otra parte, el hardware que acompaña a los micrófonos de estos dispositivos normalmente incluye un filtro paso bajo en 22 kHz de frecuencia, ya que los micrófonos de los dispositivos móviles están pensados para trabajar en el rango de frecuencias del espectro audible (desde 20 Hz – a 20 kHz).

Uno de los inconvenientes de trabajar a frecuencias muy cercanas al límite de los ultrasonidos es la posibilidad de que se puedan escuchar ruidos debido a los procesos de la propia emisión en la banda de frecuencia audible por las personas, con lo que puede resultar molesto. Para

- evitar artefactos audibles las balizas del trabajo propuesto en [M. C. Pérez, D. Gualda, J. M. Villadangos, J. Ureña, P. Pajuelo, E. Díaz, E. García. *Android application for indoor positioning of mobile devices using ultrasonic signals*. En Proc. of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016] emiten a frecuencias superiores (mayores de 5 40 kHz); y en la recepción se incluye un circuito adicional de reducidas dimensiones, fabricado por los propios investigadores, para adquirir las señales ultrasónicas y enviarlas al dispositivo móvil mediante una conexión USB, con el inconveniente de necesitar un hardware adicional al propio dispositivo.
- 10 Por otra parte, en el reciente trabajo [N. Roy, H. Hassanieh, R. Roy Choudhury. *BackDoor: Making Microphones Hear Inaudible Sounds*. En Proc. of the 15th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), 2017], se descubrió la posibilidad de detectar, a través de los *Smartphones* y *Tablets* comerciales, señales ultrasónicas emitidas a frecuencias muy superiores incluso de los 40 kHz, empleando 15 emisiones compuestas por pares de frecuencias ultrasónicas, detectándolas en el *Smartphone* o dispositivo móvil a través de la generación interna de información acústica, en la banda sónica, resultante de la diferencia de frecuencias recibidas, debido a efectos de no linealidad en el circuito de recepción.
- 20 En la presente invención se propone aplicar el uso de esta detección de diferencias de señales ultrasónicas en la banda sónica. Para ello se dispondrá de varios (cuatro o más) emisores de ultrasonidos que emitirán cada uno un par de frecuencias ultrasónicas, de tal modo que las diferencias caigan dentro del espectro audible que puede detectar el Smartphone o Tablet. Esto permite estimar la posición de dicho *Smartphone* o *Tablet* a partir del cálculo de los 25 instantes de llegada de cada emisión a través de la detección de su diferencia de frecuencias resultante. Esta propuesta permitiría utilizar un sistema ultrasónico de posicionamiento en dispositivos móviles comerciales sin el uso de un hardware de recepción adicional, eliminando además el ruido que se produce en la banda de frecuencia audible si se usasen frecuencias cercanas al límite inferior de los ultrasonidos, puesto que la frecuencia resultante generada 30 en el dispositivo móvil es interna y al medio únicamente se transmiten la suma de tonos ultrasónicos, a frecuencias muy superiores al límite de audición humana.

### **EXPLICACIÓN DE LA INVENCION**

- Esta invención presenta el uso de la detección interna de diferencias de frecuencias 35 ultrasónicas ocasionada por la respuesta no lineal de los amplificadores que componen el

circuito receptor de audio de los dispositivos móviles ante emisiones de sumas de tonos ultrasónicos a diferentes frecuencias, para su aplicación en la estimación de la posición del dispositivo a partir del cálculo de los tiempos de vuelo entre los emisores y el receptor. Para ello es necesario que el número de emisores sea mayor o igual que 3 para poder resolver mediante un sistema de ecuaciones no lineal la estimación de la posición del dispositivo móvil.

La estructura general del sistema de recepción de sonido en los dispositivos móviles está formada por un micrófono, que produce una variación en tensión sensible a la intensidad sonora de la onda acústica recibida; un amplificador, el cual multiplica por un factor o ganancia la amplitud la pequeña señal procedente del micrófono; un filtro paso-bajo, para filtrar las señales que resulten por debajo de un umbral (la frecuencia de corte suele ser 22 kHz o 24 kHz, dependiendo de la frecuencia de muestreo del dispositivo, cuyos valores más extendidos son 44.1 kHz y 48 kHz); y un conversor analógico-digital (ADC), que digitaliza la señal muestreándola a los valores descritos anteriormente, para que pueda ser procesada posteriormente.

El amplificador de entrada en el circuito receptor de los dispositivos móviles suele presentar un comportamiento lineal en el rango de frecuencia audible (desde 20 Hz – a 20 kHz), en el que siendo la señal acústica de entrada  $S$ , la salida podría representarse como:

$$S_{out} = A_1 S$$

Donde  $A_1$  es la ganancia que amplifica la señal  $S$ . Sin embargo, con frecuencias superiores a 20 kHz, los amplificadores presentan no linealidades a la salida, cuya expresión sería:

$$S_{out}|_{f > 20 \text{ kHz}} = \sum_{i=1}^{\infty} A_i S^i = A_1 S + A_2 S^2 + A_3 S^3 + \dots$$

Siendo teóricamente  $S_{out}$  una serie infinita de potencias, en la que en la práctica, a partir del tercer orden, el valor de la amplitud de la señal es prácticamente nulo y puede ser ignorado. En esta invención, se pretende hacer uso del término no lineal de segundo orden  $A_2 S^2$  que puede ser aprovechado configurando la señal  $S$  de una forma concreta que se describe a continuación:

Siendo  $f_{c,1}$  y  $f_{c,2}$  dos frecuencias en el rango ultrasónico, donde  $f_{c,1} > f_{c,2}$ , se compone una señal  $S$  para ser emitida, que está compuesta por la suma de dos tonos a las frecuencias

descritas anteriormente, con lo que la señal  $S$  puede ser expresada como:

$$S = \sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t)$$

- 5 Siendo  $\omega_1 = 2\pi f_{c,1}$  y  $\omega_2 = 2\pi f_{c,2}$ . Sustituyendo la expresión  $S$  en el término de segundo orden de la respuesta del amplificador comentado anteriormente se obtendría:

$$A_2 S^2 = A_2 [\sin^2(\omega_1 t) + \sin^2(\omega_2 t) + 2 (\sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t))]$$

- 10 Haciendo uso de las equivalencias trigonométricas, el término  $2 (\sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t))$  puede expresarse como:

$$2 (\sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t)) = \cos((\omega_1 - \omega_2)t) - \cos((\omega_1 + \omega_2)t)$$

- 15 El término  $\cos((\omega_1 - \omega_2)t)$  es una señal cuya frecuencia principal vendrá determinada por la diferencia de frecuencias seleccionada previamente, generando así una diferencia ( $f_{dif}$ ) del par de tonos emitidos:

$$f_{dif} = f_{c,1} - f_{c,2}$$

- 20 La selección de los valores de  $f_{c,1}$  y  $f_{c,2}$  dependerá de las características de emisión del transductor ultrasónico, así como de la diferencia de diferencias de frecuencias que se desea detectar fácilmente dentro de la banda audible. Por ejemplo, en el supuesto en el que el par de frecuencias de emisión de la señal ultrasónica emitida sean  $f_{c,1} = 50 \text{ kHz}$  y  $f_{c,2} = 40 \text{ kHz}$  se podrá detectar de forma interna, en el dispositivo móvil (*Smartphone, Tablet, Smartwatch*, etc.), información de una amplitud apreciable pero no elevada a una frecuencia  $f_{dif} = 10 \text{ kHz}$ , con la ventaja de que las emisiones están muy por encima del límite inferior ultrasónico, logrando así evitar trabajar en la banda audible en la emisión y sin necesidad de disponer de un hardware de recepción adicional conectado al dispositivo móvil.

- 30 El análisis de la señal recibida por el micrófono del dispositivo móvil se realiza en frecuencia, ya que tanto en amplitud como en fase estarían sujetos a una incertidumbre elevada y no se podría controlar exactamente la amplitud o fase deseada. Para realizar dicho análisis en frecuencia se puede emplear la transformada discreta de Fourier (DFT, *Discrete Fourier*

*Transform*) o derivadas de la misma:

$$S_f[k] = \sum_{l=0}^{L-1} S[l] e^{-\frac{j2\pi kl}{L}}$$

- 5 Siendo  $L$  el número de muestras de la ventana a analizar para  $0 \leq k \leq L - 1$ . Empleando esta transformada por ventanas temporales, se pueden observar los instantes en que se recibe una amplitud destacada a una diferencia de frecuencias determinada (por ejemplo, si el transductor ultrasónico emite la suma de dos tonos de 40 kHz y 50 kHz, en la recepción a través de la DFT se detectaría información a la diferencia de frecuencias de 10 kHz). Cada
- 10 uno de los emisores debe emitir un patrón en frecuencia para ser identificado correctamente en la recepción. La emisión más simple consiste en que un transductor ultrasónico emita de forma continua la suma de dos tonos seleccionando las frecuencias para detectar posteriormente una diferencia de frecuencias concreta. Mientras se recibe dicha frecuencia, podría considerarse que el dispositivo móvil se encuentra cerca del transductor (la distancia
- 15 dependerá de las características del transductor y la emisión, siendo obligatoria la visión directa entre emisor y receptor, con una distancia máxima de unos pocos metros). Esta configuración permite realizar una estimación simbólica de la posición del dispositivo móvil, estableciendo una diferencia de frecuencias por cada transductor y estancia a monitorizar.
- 20 Si se desea estimar la posición del receptor con cierta robustez a partir del cálculo de tiempos de vuelo de las señales ultrasónicas emitidas por varios transductores (mínimo 3 en caso de que exista sincronismo entre emisores y receptor; y 4 como mínimo para el caso asíncrono), habría que configurar un patrón de emisión en frecuencia. Un patrón sencillo consiste en realizar emisiones periódicas y de duración determinada, asignando a cada transductor una
- 25 suma de tonos a frecuencias que produzcan en el receptor información a una diferencia de frecuencias específica (una por cada emisor), de forma que se pueda identificar cada transductor. Será el algoritmo de Goertzel el que detecte e identifique las distintas frecuencias. El instante de tiempo de llegada del patrón descrito anteriormente se podrá detectar mediante un algoritmo que identifique los máximos locales entre periodos de recepción de las
- 30 diferencias de frecuencias, pudiéndose utilizar cualquier función de correlación. Destacar que se podría utilizar otro patrón que se base en cambios de frecuencia, como por ejemplo asignar un '1' para la generación de una frecuencia determinada y un '0' para otra diferencia de frecuencias distinta, de forma que se puedan enviar códigos binarios con buenas propiedades de correlación y correlación cruzada que ayuden a identificar los instantes de llegada de

emisiones simultáneas.

Una vez identificados los instantes de llegada se calculan las distancias o diferencias de distancias (dependiendo de si existe sincronismo entre emisores y receptor) a partir de la frecuencia de muestreo y la velocidad de propagación del sonido en el aire:

$$d_i = \frac{c}{f_s}$$

Donde  $d_i$  representa la distancia o diferencia de distancia  $i$ -ésima entre emisor o emisores y receptor;  $c$  es la velocidad del sonido ( $343.2 \text{ m/s}$  a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ) y  $f_s$  es la frecuencia de muestreo del dispositivo móvil receptor (uno de los valores más extendidos es  $44.1 \text{ kHz}$ ).

Posteriormente, con el conjunto de distancias o diferencia de las mismas se estima la posición del dispositivo móvil resolviendo el sistema de ecuaciones no lineal utilizando cualquier método de resolución (descomposición en series de Taylor y el método de Gauss-Newton son las alternativas más utilizadas). Por último, también se pueden utilizar filtros como el Filtro de Kalman Extendido (EKF) o el Filtro de Kalman Unscented (UKF) si se desea realizar un seguimiento de la estimación de posición del dispositivo móvil utilizando el conjunto de distancias o diferencia de éstas en cada iteración.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 muestra un esquema de sistema de localización ultrasónico compuesto por diversos emisores (1.1), siendo 4 para una apropiada estimación de la posición en 3D, que emiten de forma simultánea utilizando una señal de sincronismo (p. ej., infrarrojos), pudiendo ser válida cualquier señal de radiofrecuencia. La recepción se realiza a través del propio micrófono de un dispositivo móvil, el cual muestra mediante una aplicación, la estimación de su posición (1.2).

La Figura 2 muestra la propuesta publicada en 2017 en la que se basa la presente invención para aplicarla a sistemas de posicionamiento ultrasónicos. Dicho trabajo muestra que la emisión de la suma de dos tonos ultrasónicos (2.1) genera una señal que resulta de la diferencia entre las dos frecuencias (2.2) en la mayoría de dispositivos móviles debido a componentes no lineales que aparecen en el amplificador del micrófono. Dicha señal se

genera a una frecuencia inferior a la frecuencia de corte por el filtrado paso bajo de los dispositivos móviles (2.3).

5 La Figura 3 muestra un ejemplo sencillo de patrón de emisión genérico compuesto por la emisión 1 (3.1), emisión 2 (3.2), hasta la emisión N (3.3), en frecuencia, cuya secuencia de transmisión continua por cada transductor es la suma de dos tonos ultrasónicos (3.4) seguido de un periodo de ausencia de emisión (3.5). La Figura 4 muestra el ejemplo de las señales recibidas por cada emisor, de acuerdo con el ejemplo de patrón ultrasónico emitido. Se detecta durante un periodo de tiempo la frecuencia que se genera internamente en el dispositivo (4.1) 10 seguido de un periodo de ausencia de recepción (4.2). La diferencia de tiempo entre el instante de recepción y el de emisión (4.3) se correspondería con los TOAs.

La Figura 5 muestra la detección de los instantes de tiempo en los que aparecen las distintas diferencias de frecuencias (una por cada emisión) generadas en el dispositivo móvil (5.1) que 15 permiten calcular los TOAs (5.2) o los TDOAs (5.3) dependiendo de si existe sincronismo entre los emisores y el dispositivo móvil.

### REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

20 Tal y como se muestra en el diagrama de la Figura 1 se parte de un sistema de posicionamiento ultrasónico compuesto por  $N$  balizas (cuatro en el ejemplo de la figura, que es un número apropiado para estimar la posición en 3D), cada una formada (1.1) por un transductor ultrasónico, un detector de la señal de sincronismo (infrarrojos u otro tipo de señal de radio) y la electrónica de control (circuito basado en microcontrolador, FPGA, etc.) para manejar la señal entrante de sincronismo y emitir las señales ultrasónicas adecuadas y el 25 dispositivo móvil (*Smartphone*, *Tablet*, *Smartwatch*, etc.) que captará las señales ultrasónicas emitidas por los transductores y mostrará la estimación de posición del dispositivo (1.2) a partir de una aplicación desarrollada en Android, IOS, etc., con los métodos descritos en la presente invención.

30 Las señales a emitir por cada uno de los transductores estarán compuestas por sumas de tonos ultrasónicos (2.1) de manera que la diferencia entre las frecuencias de sus tonos resulte en una frecuencia cuyo valor sea inferior a la máxima que pueden detectar este tipo de dispositivos (2.3), esto permite salvar las restricciones impuestas por la baja frecuencia de

muestreo con la que se adquieren las señales acústicas, con valores usuales de 44.1 kHz y 48 kHz y a restricciones de filtrado de tipo paso-bajo de los dispositivos móviles actuales. La señal que se genera dentro de estos dispositivos (2.2) como consecuencia de la recepción de la suma de pares de tonos ultrasónicos es de amplitud reducida debido a que dicha señal se genera por un efecto de no linealidad en la fase de amplificación dentro de la recepción acústica, siendo la ganancia inferior que la del término lineal.

Un ejemplo de posible patrón sencillo de emisión por cada uno de los  $N$  transductores que componen el sistema de posicionamiento ultrasónico se muestra en la Figura 2. Dicho patrón continuo está compuesto por la emisión de la suma de dos de tonos ultrasónicos (3.1) cuya duración corresponde a  $(\frac{T_c}{2})$ , que se repite periódicamente con un periodo  $T_c$  (3.2).

La recepción en el dispositivo móvil para cada una de las señales emitidas por las balizas será una señal de amplitud reducida (4.1) a una frecuencia igual a la diferencia de frecuencias de la suma de tonos ultrasónicos emitida por cada una de ellas. Dicha frecuencia se denomina diferencia de frecuencias ( $f_{dif,n}$ ), debido al efecto de no linealidad que surge en el amplificador del micrófono del dispositivo móvil, generándose una diferente por cada transductor asociado a cada baliza. A continuación de la recepción de cada diferencia de frecuencias existe un periodo de ausencia de recepción de la misma longitud que la señal de diferencia de frecuencias. El periodo conocido de este patrón recibido es  $T_R$  y dependerá de la longitud de las emisiones, así como de la frecuencia de muestreo ( $F_s$ ) del dispositivo móvil. Cada una de las señales se reciben un tiempo después de ser emitidas (4.3), denominado tiempo de vuelo (TOA) que estará relacionado con la distancia entre el dispositivo móvil y cada uno de los emisores o balizas.

El proceso de identificación de los instantes de llegada de las  $N$  señales consiste en la detección de dos diferencias de frecuencias consecutivas. Utilizando el valor conocido del intervalo de tiempo entre la recepción de dos de dichas señales ( $T_R$ ) se pueden detectar con cierta precisión los instantes de llegada (5.1). En caso de que exista sincronismo (conocimiento en el dispositivo móvil del instante de emisión de las señales ultrasónicas) entre los emisores y el dispositivo, se utilizarán los tiempos de vuelo o TOAs (5.2) para determinar las distancias entre los emisores o balizas y el receptor que permitirán estimar la posición del mismo posteriormente. Si dicho sincronismo no está disponible se utiliza el instante de llegada de la señal de una de las balizas considerada como referencia y se calculan los TDOAs o diferencias de tiempo de llegada (5.3) entre esta y el resto de balizas.

- El patrón de emisión descrito, así como su lógica de recepción es un ejemplo básico del uso de sumas de tonos ultrasónicos para la detección de las diferencias de frecuencias correspondientes en el dispositivo móvil y su aplicación para la estimación de su posición. Cualquier solución que utilice la generación de diferencias de frecuencias de manera que el instante de recepción pueda ser identificado de forma apropiada en el dispositivo móvil puede ser utilizada, como la asignación de dos diferencias de frecuencias distintas para utilizar secuencias binarias, o el uso de variaciones en la generación de diferencias de frecuencias para construir cualquier tipo de patrón.
- Finalmente, a partir de los TOAs o TDOAs dependiendo de la existencia o ausencia de sincronismo se calculan el conjunto de distancias o diferencia de las mismas utilizando los parámetros de velocidad del sonido y frecuencia de muestreo. Con ese conjunto de distancias, o diferencia de las mismas, se estima la posición del dispositivo resolviendo el sistema de ecuaciones no lineal. Cualquier método de resolución de ecuaciones no lineales puede ser utilizado, aunque se recomiendan métodos iterativos basados en linealización mediante series de Taylor, como Gauss-Newton o variaciones del mismo, debido, entre otras ventajas a la posibilidad de resolver la posición en un sistema sobredimensionado (más ecuaciones que incógnitas), lo que otorga una mayor robustez a los resultados.
- Por último, la algoritmia y los métodos desarrollados serán programados en dispositivos móviles como *Smartphones*, *Tablets* o *Smartwatches*, bajo la premisa de no añadir hardware adicional. La posibilidad de sincronización entre emisores y receptor puede ser abordada a partir de señales GNSS con un repetidor de este tipo de señales en interiores. Los emisores de ultrasonidos deberían incorporar un receptor de estas señales de forma que emiten cuando detectan una determinada señal. El acceso a los datos brutos de este tipo de señales en dispositivos móviles permitirá conocer los instantes de emisión y poder utilizar TOAs en vez de TDOAs para calcular la posición, lo cual mejora la precisión y exactitud de las estimaciones de posición. Dichas posiciones preferiblemente se mostrarán en el formato de visualización más extendido, que actualmente requiere el uso de mapas de interior de Google.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la estimación de la posición de dispositivos móviles comerciales (*Smartphones, Tablets, Smartwatches, etc.*), con las siguientes fases:
  - 10 a. Emisión de señal ultrasónica compuesta por la suma de tonos a frecuencias diferentes por cada uno de los transductores que componen el sistema de posicionamiento ultrasónico.
  - 15 b. Recepción de las señales emitidas mediante el micrófono del dispositivo móvil, cuya frecuencia en la señal de cada emisor es la resultante de la diferencia de frecuencias emitidas, sin más límite que el hecho de que dicha diferencia debe caer dentro de la banda sónica, aprovechando la no linealidad provocada por la etapa de amplificación del receptor de audio de los dispositivos móviles y sin hardware adicional en el receptor de los mismos.
  - 20 c. Cálculo de los instantes de llegada de cada señal recibida, a partir de la detección de patrones basados en análisis en frecuencia o en el tiempo de la señal recibida para detectar esa diferencia de frecuencias para cada uno de los emisores.
  - 25 d. Obtención del conjunto de distancias (o diferencia de distancias) entre los emisores y el receptor, considerando la velocidad de las ondas acústicas en el aire, para con ello estimar la posición del dispositivo móvil utilizando trilateración o multilateración.
- 30 2. El procedimiento de la reivindicación 1 para cualquier tipo de modulación, codificación o técnica de acceso simultáneo de varias transmisiones al mismo medio.
- 35 3. El procedimiento de la reivindicación 1 para cualquier tipo de sincronización entre emisores y receptores (con señales de RF, infrarrojos o tics temporales provenientes de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*)).
4. El procedimiento de la reivindicación 1 para cualquier tipo de aplicación en que se requiera la posición del móvil, tanto en modo simbólico como bajo sistemas de coordenadas, y tanto

si es ejecutada en el propio dispositivo móvil bajo cualquier plataforma (Android, IOS, etc.) como si es ejecutada en otro dispositivo externo con el que se comunica.

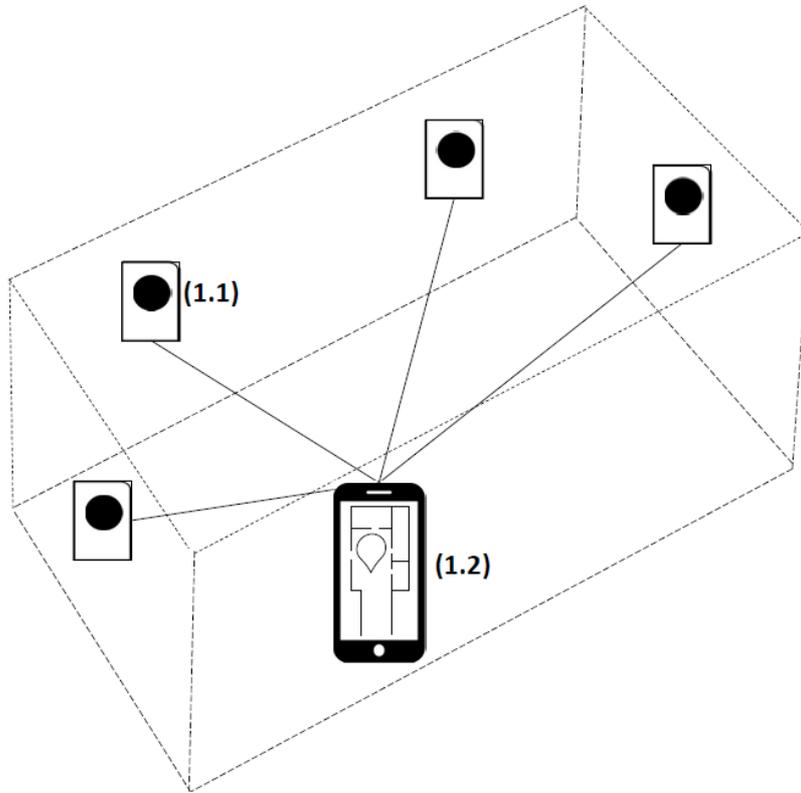


FIG. 1

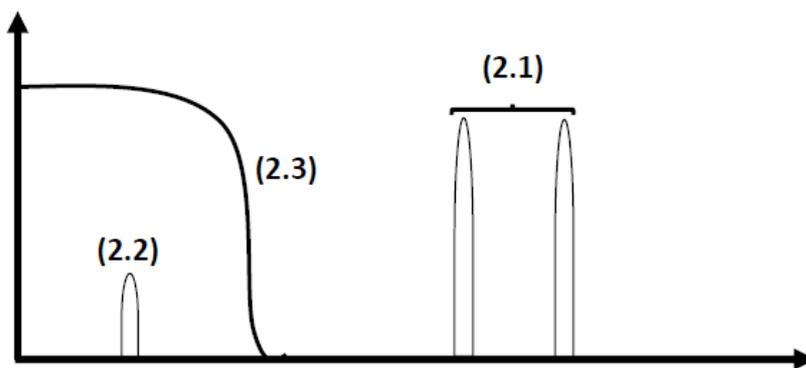


FIG. 2

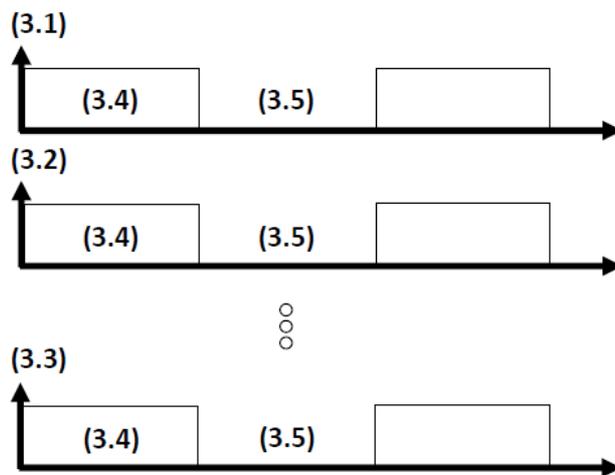


FIG. 3

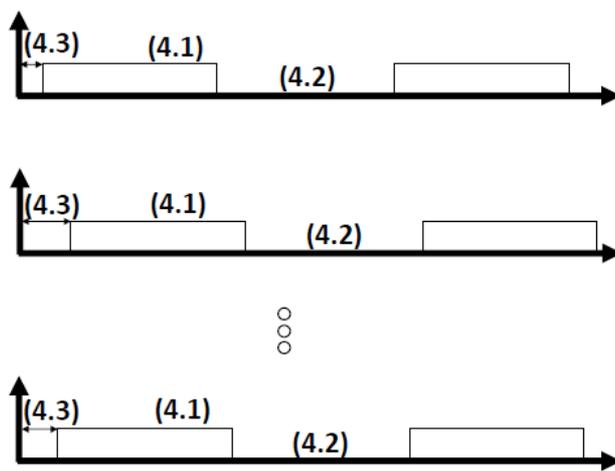


FIG. 4

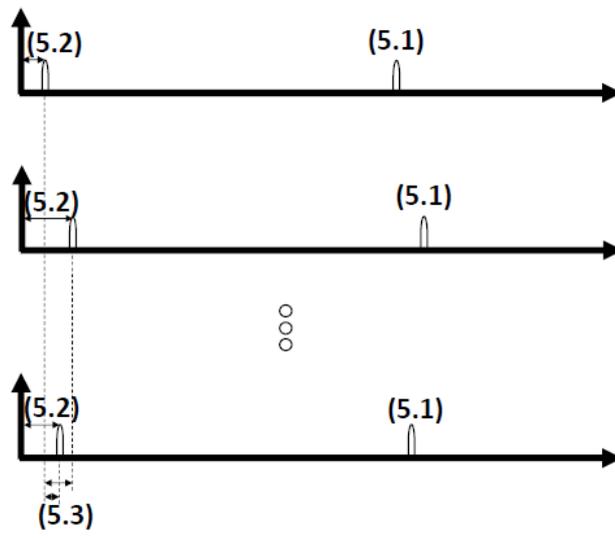


FIG. 5