(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 968 356**

(51) Int. Cl.:

G01S 5/00 (2006.01)
G01S 5/06 (2006.01)
G01S 1/04 (2006.01)
G01S 5/02 (2010.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2020 PCT/EP2020/075869**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.06.2021 WO21115645**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2020 E 20768640 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.10.2023 EP 4073536**

(54) Título: **Procedimiento de localización pasiva de transmisores mediante medición del tiempo diferencial de llegada (TDOA)**

(30) Prioridad:

11.12.2019 FR 1914135

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.05.2024

(73) Titular/es:

THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem Place des Corolles - Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR

(72) Inventor/es:

SEUTE, HUGO;
RATTON, LAURENT;
VIGNERON, ANNE y
BOURDARIAS, MARC

(74) Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

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

Procedimiento de localización pasiva de transmisores mediante medición del tiempo diferencial de llegada (TDOA)

La presente invención pertenece al campo de la localización pasiva de fuentes de emisión de radiofrecuencia. En el caso de los sistemas de radar, estas fuentes de emisión pueden transmitir a intervalos muy cortos, por ejemplo en el caso de los radares aerotransportados de HFR (Alta Frecuencia de Recurrencia), o durante periodos muy largos, por ejemplo en el caso de los radares CW (Continuous Waveform).

La localización pasiva puede realizarse utilizando varios receptores remotos, midiendo el tiempo diferencial de llegada de la señal (TDOA) en los receptores. Puede utilizarse tanto para autoprotección (ESM - Electronic Support Measures) como para inteligencia ELINT (ELectronic INTelligence) y en todo tipo de portadores, incluidos satélites, aviones y barcos.

Un problema técnico que hay que resolver es el de la compresión de los datos dentro de cada receptor para transmitirlos a través de un enlace de datos a una velocidad limitada al sistema que realiza la localización. Esta compresión es necesaria para obtener localizaciones de una precisión aceptable, respetando al mismo tiempo las limitaciones de caudal impuestas por el enlace de datos. Existen varios tipos de soluciones al problema de la compresión de datos para la localización TDOA. A continuación se describen dos tipos de soluciones del estado de la técnica.

Procedimientos de tipo 1: Estos procedimientos de compresión se aplican directamente a las muestras de señal recibidas. A continuación, estas muestras se cuantifican y codifican. Esta cuantificación se optimiza para degradar lo menos posible la estimación TDOA. En este caso, el TDOA se estima mediante la correlación cruzada de las señales reconstruidas. Estos procedimientos son bastante genéricos y sirven para cualquier tipo de señal. La presente invención trata de señales de radar, a menudo consistentes en pulsos. Por lo general, no es necesario utilizar todas las muestras de señal. En primer lugar, porque la mayor parte del tiempo un transmisor de radar no emite nada y, en segundo lugar, porque la naturaleza pulsante de determinadas señales de radar permite obtener marcadores temporales absolutos (fechas de pulsos) de forma bastante precisa y económica. Además, la estimación del TDOA por correlación cruzada es muy exigente en términos de recursos informáticos en comparación con la simple sustracción del TOA. Por último, para algunas aplicaciones, los receptores existentes no son capaces de digitalizar y procesar en tiempo real todas las muestras de una señal de radiofrecuencia. Esto nos lleva al segundo tipo de solución.

Procedimientos de tipo 2 : Estos procedimientos se basan en la extracción de fechas de pulso. Para obtener un marcador de tiempo, generalmente se opta por fechar sólo el flanco ascendente del pulso. Esta fecha se denomina TOA (Time Of Arrival) del pulso. Así pues, una señal se caracteriza por la lista de TOA de los pulsos que contiene. A continuación, estas listas de TOA se intercambian entre plataformas, los TOA se asocian entre sí y el TDOA se obtiene simplemente restando los TDOA. Sin embargo, para señales con pulsos muy largos o señales CW, es muy difícil, si no imposible, obtener TOA de pulsos. Sin embargo, estas señales pueden contener otros marcadores temporales, como modulaciones de fase o de frecuencia. A diferencia de los procedimientos de tipo 1, los procedimientos de tipo 2 no los tienen en cuenta.

El documento CN 109 669 157 A representa el estado de la técnica.

Uno de los objetivos de la invención es superar las desventajas de la técnica anterior. Para ello, el objeto de la invención es un procedimiento de localización pasiva de un emisor de ondas radar mediante la medida de la diferencia de llegada, denominada TDOA, entre dos plataformas de una señal transmitida por dicho emisor, caracterizado porque dicho procedimiento utiliza una red neuronal global de tipo siamés compuesta por dos redes neuronales, denominadas red α, que tienen los mismos pesos y una tercera red neuronal, denominada red β, que recibe como entrada los datos de salida de dichas redes α:

- una primera red α dispuesta sobre una primera plataforma, que codifica las señales procedentes de dicho emisor mediante un conjunto de parámetros y transmite dichos parámetros a dicha red β ;
- la segunda red α dispuesta en la segunda plataforma, que codifica las señales procedentes de dicho transmisor mediante un conjunto de parámetros y transmite dichos parámetros a dicha red β ;

dicha red β siendo entrenada para calcular el TDOA a partir de dichos parámetros recibidos de dichas redes α, dicha red global siendo entrenada a partir de un conjunto de modelos de señal susceptibles de ser encontrados.

En un modo de realización particular, dicho conjunto de modelos se genera a partir de un conjunto de señales representativas, el procedimiento de generación de dicho conjunto comprende las siguientes etapas que se repiten hasta obtener un número determinado de modelos:

- Selección de una señal de dicho conjunto ;
- Selección de una porción de dicha señal;

- Copia por duplicado de dicha parte ;
- Introducción de un desfase temporal en una de las copias. ;
- Almacenamiento del modelo en una base de datos, estando dicho modelo compuesto de al menos :
    - dicha copia que forma una primera señal adecuada para ser presentada a la entrada de dicha primera red α ;
    - la copia desplazada en el tiempo que forma una segunda señal adecuada para su presentación a la entrada de dicha segunda red α ;
    - dicho desfase temporal, capaz de ser comparado con el TDOA calculado por dicha red β a partir de dicha primera señal y dicha segunda señal.

Para entrenar dicha red global, por ejemplo, las señales primera y segunda de los modelos de dicho conjunto se presentan sucesivamente a cada una de las entradas de dichas redes α, comparándose el TDOA calculado por dicha red β con el desfase temporal asociado al modelo actual, ajustándose iterativamente los pesos de dichas redes α y de dicha red β en función del error resultante de cada comparación. Por ejemplo, se obtiene una función de coste tomando el error cuadrático entre dicho desfase temporal y el TDOA calculado a la salida de dicha red β, minimizándose dicha función de coste mediante un algoritmo de tipo gradiente descendente estocástico, ajustándose iterativamente dichos pesos.

En cada una de dichas plataformas, la señal recibida de dicho transmisor es, por ejemplo, captada por un receptor que proporciona una descripción de dicha señal en forma digital, siendo dicha descripción una serie de muestras de dicha señal o una descripción en otro formato.

Otras características y ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, hecha con referencia a los dibujos adjuntos que muestran :

La Figura 1, una ilustración del contexto de la invención, que muestra dos portadores aéreos de base corta;

La figura 2, un sistema de posicionamiento TDOA con datos centralizados en una estación central;

La figura 3, un sistema de posicionamiento TDOA con datos centralizados en una de las dos plataformas;

La Figura 4, una representación esquemática de las etapas de procesamiento de un primer tipo de procedimiento según la técnica anterior;

La Figura 5, una representación esquemática de las etapas de procesamiento de un segundo tipo de procedimiento según la técnica anterior;

La figura 6, la estructura de red utilizada en la invención;

La figura 7, un diagrama de bloques de la invención;

La figura 8, el procedimiento de generación de un conjunto de datos adaptado a partir de una base de datos de señales;

La figura 9, la fase de aprendizaje de las redes neuronales utilizadas en la invención.

La figura 1 ilustra el contexto de la invención. La invención se inscribe en el campo de la localización geográfica multiportadora por escucha y medición de los tiempos de llegada. Se supone que los receptores forman una base lo suficientemente corta como para ser iluminados simultáneamente por el mismo lóbulo de antena, como se muestra en la figura para un caso aéreo. Dos portadoras A y B están separadas por una distancia del orden de un kilómetro y son iluminadas simultáneamente por el lóbulo principal 2 de un radar 1 a localizar. En la parte superior de la figura, los dos receptores 1A, 1B asociados a las portadoras A y B miden la diferencia de tiempo de llegada de la señal (TDOA) anotada τ. Por definición, el lugar geométrico de los puntos en el espacio correspondientes al TDOA τ es un hiperboloide cuya intersección con un suelo plano es una hipérbola 3 mostrada como línea discontinua en la parte inferior de la figura. Si el radar se encuentra a gran distancia, la asíntota de la hipérbola da la dirección de llegada θ (DOA, Direction Of Arrival) de la señal mediante la siguiente relación:

$$\cos\theta = \frac{c\tau}{d} \quad (1)$$

donde c es la velocidad de propagación de la onda y d el tamaño de la base (es decir, la distancia entre los receptores 1A, 1B). Diferenciando la relación anterior, una precisión σ_τ en el TDOA proporciona una precisión σ_θ en la dirección de llegada :

$$\sigma_\theta = \frac{c}{d \operatorname{sen} \theta} \sigma_\tau \,. \quad (2)$$

La Tabla 1 a continuación da algunos ejemplos numéricos de la precisión angular alcanzable con TDOA en una base corta.

[Tabla 1]

d	1000 m			2500 m		
σ_τ	50 ns	40 ns	10 ns	50 ns	10 ns	2 ns
σ_θ	1°	0,8°	0,2°	0,4°	0,08°	0,016°

Antes de describir la solución según la invención, se hace referencia a uno de los problemas técnicos a resolver en relación con las Figuras 2 y 3, y luego a los dos tipos de procedimiento presentados brevemente en la introducción. Para llevar a cabo una localización TDOA durante una misión, es necesario intercambiar información entre varias plataformas remotas. Esto puede lograrse en dos configuraciones diferentes, como se ilustra;

La figura 2 ilustra una primera configuración correspondiente a un sistema de posicionamiento TDOA con centralización de datos en una estación central 21, del tipo centro de control. Una primera plataforma A recibe la señal del objetivo 1 a través de su sistema de recepción 1A, 22. Una segunda plataforma B recibe la señal del objetivo 1 a través de su sistema de recepción 1B, 23. Cada plataforma incluye medios (24, 25) para extraer y comprimir datos de carga útil, y para transmitir estos datos de carga útil a la estación central (21). Así se fusionan los datos, se calcula el TDOA y se deduce la ubicación del objetivo.

La figura 3 ilustra la segunda configuración correspondiente a un sistema de localización TDOA con centralización de datos en una de las plataformas. En este caso, las dos plataformas siguen incluyendo los mismos sistemas para recibir la señal y extraer y comprimir los datos útiles, pero la plataforma 1B incluye los medios 31 para fusionar los datos y calcular el TDOA y los medios 32 de localización.

En ambas configuraciones, para realizar los intercambios, es necesario establecer al menos un enlace de datos 26, 27, 33 para transmitir información que represente marcadores de tiempo recibidos en una plataforma. Estos enlaces pueden existir en otros lugares, pero tienen un caudal limitado y suelen utilizarse para varios fines. Por tanto, es necesario comprimir los datos para transmitir la información necesaria para localizar la fuente de la información en el menor número posible de bits (o símbolos).

En escucha pasiva, la localización de la fuente por TDOA es una técnica muy importante con un rendimiento prometedor. Un sistema basado en mediciones TDOA es un complejo sistema multiplataforma. Estas plataformas necesitan comunicarse entre sí para establecer la sincronización horaria e intercambiar datos de localización [1]. Como el volumen de datos puede ser considerable, se han desarrollado varios procedimientos. La clasificación de estos procedimientos, establecida anteriormente en la introducción, se presenta a continuación en relación con las figuras 4 y 5.

La figura 4 es una representación esquemática de las etapas de procesamiento de un procedimiento del tipo 1. Los procedimientos de este tipo se basan en el tratamiento integral de todas las muestras de la señal digitalizada. Son diferentes aplicaciones del mismo principio ilustrado en la figura 4.

En primer lugar, la señal se digitaliza 42 en cuanto se recibe 41. En el campo de aplicación previsto, queremos tener una gran banda de escucha, por lo que tenemos un flujo de datos muy grande a la salida del convertidor analógico/digital. A continuación, la señal suele someterse a una transformada 43 para concentrar la información útil en un número reducido de coeficientes. Puede ser una transformada discreta de Fourier [**2**], una transformada de Hilbert [**3**] o una transformada Wavelet [**4**]. La última etapa del procedimiento de compresión consiste en la cuantización 44, en la que sólo se selecciona un número reducido de coeficientes de la transformación anterior y/o se asigna un número definido de bits para describir los coeficientes seleccionados. Esta cuantificación implica naturalmente un compromiso entre el volumen de datos de salida y la fidelidad de los datos de entrada, y por tanto la precisión de la estimación TDOA.

A continuación, las señales se intercambian y se descomprimen 45. El TDOA se calcula mediante la correlación cruzada de 46 muestras. Este procesamiento puede resultar prohibitivo cuando el caudal de muestras es elevado. Estos procedimientos funcionan para todos los tipos de señal. Son útiles cuando es posible procesar una versión digital de la señal en tiempo real, por ejemplo para señales acústicas [**5**]. En el caso de un sistema de escucha de señales de radar que requiere una banda de escucha amplia, generalmente se trabaja a partir de las características de los pulsos recibidos (frecuencia, anchura de pulso, TOA, etc.), y no a partir de una versión digital de toda la señal. Una característica especialmente interesante para la localización TDOA es la medición del tiempo de llegada (TOA). Esto nos lleva al segundo tipo de procedimiento, descrito a continuación en relación con la figura 5.

La figura 5 es una representación esquemática de las etapas de procesamiento de un procedimiento de tipo 2. Los procedimientos de este tipo realizan la compresión directamente a partir de una serie de TOA, como se muestra en la figura 5.

Después de la recepción 51, la primera etapa 52 es calcular el tiempo de llegada (TOA) para cada uno de los pulsos recibidos. El frente ascendente se utiliza generalmente como criterio de datación. Existen varios procedimientos para extraer un TOA que sea robusto al ruido e invariable al nivel de señal. Esto puede hacerse mediante umbrales adaptativos [**6**] o calculando el punto de cancelación de la segunda derivada [**7**]. A continuación, una etapa de regresión 53 transforma la lista de TOA de pulsos en un resumen estadístico. Uno de los coeficientes de esta regresión corresponde a un TOA "promedio". Este valor se estima con un buen grado de precisión, ya que se basó en la lista completa de TOA. Este principio se describe en [**8**] pero se restringe al caso de una forma de onda en la que el TOA de los pulsos siempre aumenta en la misma cantidad, es decir, una forma de onda con un PRI (Periodo de recurrencia de pulsos) constante. El mismo principio se desarrolla también en [**9**], pero describe el resumen de las medidas AOA (Angle of Arrival, ángulo de llegada) y TDOA, no el resumen de TOA. Finalmente, el TDOA se calcula simplemente restando dos TOA "promedios" obtenidos en plataformas remotas.

Sea cual sea el tipo de procedimiento, el TDOA una vez obtenido se envía a un algoritmo de localización para estimar la posición del transmisor. En [**14**] se presenta un procedimiento que difiere de los procedimientos de tipo 1 y 2 para calcular una diferencia en el tiempo de llegada basada en el aprendizaje previo. Sin embargo, este procedimiento no aborda la cuestión de la compresión de datos y no puede utilizarse como tal para medir el TDOA entre varias plataformas remotas.

La figura 6 muestra la estructura de una red neuronal utilizada por la invención para calcular el TDOA, siendo esta red de tipo siamés. La invención aprovecha el hecho de que las formas de onda de radar suelen tener un marcado carácter periódico, con pulsos que se emiten siguiendo un patrón repetitivo. La invención introduce así un algoritmo, basado en redes neuronales 73, 75, que puede explotar la naturaleza repetitiva de las señales recibidas para comprimir los datos minimizando al mismo tiempo el impacto de esta compresión en la plataforma de localización TDOA. Este algoritmo toma como entrada un vector que caracteriza la señal. Este vector puede ser la serie temporal de las muestras de señal S_1, S_2 adquiridas en un receptor, o cualquier otra descripción de la señal proporcionada por el receptor, por ejemplo una lista de los TOA.

El cálculo TDOA realizado según la invención garantiza la compresión de los datos durante los intercambios entre plataformas. Se supone que una etapa previa de filtrado o desentrelazado ha separado las señales según su emisor original y que la señal S_1, S_2 procede de un mismo emisor. La invención se basa en un modelo de forma de onda de radar definido por una base de datos de ejemplos, que se presentará más adelante. Así que este modelo no es inamovible. Añadiendo o eliminando ejemplos de formas de onda de la base de datos, el modelo puede adaptarse a las formas de onda que probablemente se encuentren sobre el terreno. De este modo, no nos limitamos a una descripción de la señal en forma de lista de PRI y PRM (Período de recurrencia del patrón).

Esta base de datos de ejemplos se utiliza para entrenar la red neuronal siamesa [**10-11**]. El principio de estas redes es aprender una función de similitud entre dos objetos de entrada. Tradicionalmente, esta función de similitud se utiliza para realizar una clasificación binaria, es decir, para determinar si los dos objetos presentados son idénticos o no. Según la invención, el objetivo no es aprender una función que permita diferenciar dos señales, sino aprender una función que permita calcular el retardo entre dos señales, de forma similar a [**14**], utilizándose este retardo para calcular el TDOA. La ventaja de utilizar redes de tipo siamés es que se dividen en canales independientes [**11**]. Además, los pesos de capa de estos canales independientes son idénticos entre los canales. Esto reduce el número de grados de libertad del problema (es decir, el número de pesos que hay que estimar durante la fase de aprendizaje).

Ajustando el tamaño de la capa 731 a la salida de los canales, es posible forzar a la red a reducir el tamaño de los datos a intercambiar entre plataformas. Este enfoque es similar a la compresión de datos mediante autocodificadores [**12**]. La diferencia es que la representación de la señal que intentamos obtener tras la compresión no es una representación que permita la mejor reconstrucción posible de la señal de entrada, sino una representación que permita el cálculo más preciso posible del retardo entre dos señales, que es el objetivo del cálculo TDOA.

La figura 7 muestra todos los bloques funcionales que implementan la invención para calcular el TDOA y, en consecuencia, para localizar objetivos. Se supone que se ha realizado previamente una etapa de entrenamiento para que la red neuronal pueda ser entrenada para calcular el TDOA. Durante esta etapa de aprendizaje, que se describirá más adelante, a partir de una biblioteca de modelos de señales representativas, el algoritmo se entrena para encontrar un conjunto restringido de parámetros que permitan codificar eficazmente los marcadores temporales de las señales de entrada, con lo que se consigue la compresión de la señal.

El sistema representado en la figura 7 comprende dos plataformas A, B y una estación central 70, cada una de las cuales comprende una red neuronal 73. En cada plataforma, una antena 1A, 1B recibe la señal emitida por el objetivo 1. Esta señal es procesada por un receptor 71 que proporciona una descripción de la señal en forma digital. Típicamente, esta descripción es una serie de muestras de la señal digitalizada, pero puede ser una descripción en otro formato, por ejemplo una lista de "Pulse Descriptor Words" (PDW) que son valores que caracterizan los pulsos de la señal recibida (en el caso de una señal pulsada): duración, frecuencia y otras características de los pulsos

Por ejemplo, se aplica un preprocesamiento 72 a estos datos brutos a la salida del receptor, con el fin de reducir el flujo de datos y/o introducir ciertas invariantes. Este preprocesamiento puede implicar el diezmado de la señal (reducción del flujo de datos) o la normalización de la amplitud (introducción de una invariancia en amplitud). También es posible pasar los datos brutos directamente a la entrada de la red neuronal 73.

En cada plataforma, los datos son procesados por una primera red neuronal 73, denotada α, con una segunda red neuronal 75, denotada β, ubicada en la estación central 70. Las redes neuronales α se entrenan para codificar (comprimir) las señales recibidas mediante un conjunto restringido de parámetros, codificando los marcadores temporales de estas señales. La red neuronal β se entrena para descodificar esta representación comprimida, es decir, para utilizar los datos codificados para calcular el TDOA.

La red neuronal α (idéntica en ambas plataformas) está formada por un conjunto de capas de diferentes tipos, incluyendo las capas clásicas utilizadas en redes de aprendizaje profundo "deep learning" [**13**]. En el caso de datos de entrada en forma de muestras de señal, la red α puede utilizar ventajosamente capas de tipo convolución 1D, lo que permite explotar la estructura temporal de la señal. El tamaño de la última capa de la red viene determinado por la velocidad de transmisión de datos disponible en el enlace de datos con la estación central. Por ejemplo, si queremos poder calcular dos mediciones TDOA por segundo y el enlace de datos permite el intercambio de 32 números de coma flotante por segundo, entonces la capa de salida de la red α debe tener como máximo un tamaño de 16.

A la salida de cada red α se obtiene una representación comprimida de la señal recibida en la plataforma. A continuación, las representaciones comprimidas a la salida de la red α de cada plataforma se transmiten a la misma plataforma, que puede ser una de las dos plataformas A y B (véase la figura 3) u otra plataforma como la estación central 70 del ejemplo de la figura 7. Los datos de ambas plataformas se concatenan 74 antes de alimentar la red neuronal β. La concatenación consiste en combinar los datos de las dos plataformas en un único vector. La red β también puede comprender varias capas de distintos tamaños y tipos. Su última capa es de tamaño 1 y proporciona el TDOA final calculado por el sistema. El conjunto de redes α y la red β distantes entre sí forman una red neuronal global 700.

La medida de TDOA obtenida alimenta un algoritmo de localización 76, realizándose la localización en base al TDOA de forma conocida. Esta medición TDOA puede corregirse mediante un desfase temporal para compensar el error de sincronización entre los relojes de cada plataforma. En combinación con otras mediciones TDOA, y conociendo la trayectoria de las plataformas receptoras A y B, podemos calcular clásicamente una estimación de la posición del objetivo transmisor.

La fase de entrenamiento de la red neuronal se describe a continuación con referencia a la figura 8, para la generación de un conjunto de datos, y a la figura 9, para el entrenamiento de una red neuronal. El aprendizaje se realiza en la red global 700 formada por las redes α y la red β.

La figura 8 ilustra la generación de un conjunto de datos adaptado a partir de una base de datos de señales 80 representativa. Esta base de datos 80 es en realidad una biblioteca de modelos de señales susceptibles de encontrarse en funcionamiento. Para entrenar la red neuronal a realizar la tarea descrita anteriormente en relación con la figura 7, es necesario disponer de un conjunto de datos que comprenda ejemplos de posibles entradas (señales) y la salida asociada que forme una etiqueta (valor del TDOA). Por lo general, no se dispone de tales conjuntos de datos. Sin embargo, generalmente es posible tener acceso a ejemplos de señales (grabaciones de señales reales, o simulaciones), típicamente accesibles en la base de datos 80. A partir de una base de datos de diferentes señales, es posible generar un conjunto de datos para entrenar una red neuronal que estime el TDOA. La figura 8 ilustra las etapas utilizadas en la invención para generar un ejemplo (entradas y etiqueta) para el conjunto de datos de entrenamiento.

En una primera etapa, se selecciona (aleatoriamente) una señal 81 de la base de datos 80. A continuación, se selecciona aleatoriamente una porción 82 de la señal 81.

En una etapa posterior, esta porción se copia en dos copias 821, 822, y se introduce un desfase temporal 83 en una de las copias, este desfase de tiempo 83 simula un TDOA, igual a 7,3 µs en el ejemplo de la figura 8. El desfase 83 se elige al azar dentro de un intervalo de tiempo realista, compatible con los retrasos que se producen entre plataformas.

Por ejemplo, se añade ruido 84 o variabilidad a las dos copias de la señal. Esto produce dos señales S_1, S_2 y un TDOA asociado, es decir, un modelo 85 compuesto por dos entradas posibles y la salida asociada (etiqueta), destinado a ser almacenado en una base de datos para formar un conjunto de datos 86. El procedimiento ilustrado en la Figura 8 se repite un número de veces igual al número de ejemplos a almacenar en el conjunto de datos 86.

El procedimiento descrito en la figura 8 ilustra un ejemplo en el que las señales de entrada se describen en forma de serie de muestras, pero el mismo procedimiento puede aplicarse de forma similar a datos con otras formas, es decir, estructurados de forma diferente, por ejemplo PDW. Este procedimiento de generación de datos permite obtener un gran número de ejemplos en el conjunto de datos, aunque sólo se disponga de un pequeño número de grabaciones de señales, porque los ejemplos se crean sobre porciones de las propias señales, que pueden ser muy largas, y la introducción aleatoria de variabilidades permite multiplicar los ejemplos a partir de una misma señal (principio de aumento de datos).

La figura 9 ilustra la fase de aprendizaje de la red neuronal. Esta fase de aprendizaje consiste en determinar los pesos de cada capa de la red global 700, formada por las redes α y la red β. Para ello, en cada una de las entradas α de la red se presentan los datos 85 del conjunto de datos 86 creado en la etapa anterior. Las salidas de las capas se calculan sucesivamente utilizando los pesos actuales (inicializados aleatoriamente al principio). Los pesos de las redes α son compartidos, es decir, estas dos redes tienen los mismos pesos. Las salidas de las redes α se concatenan según el procedimiento 74 descrito frente a la figura 7. Los datos concatenados se introducen en la red β.

La salida final (salida de la red β), que se supone corresponde al TDOA entre las dos señales, se compara 92 con el verdadero TDOA (etiqueta 91 del ejemplo de entrada). Se obtiene una función de coste tomando, por ejemplo, el error cuadrático entre el TDOA verdadero y el TDOA a la salida de la red. Esta función de coste se minimiza, por ejemplo, mediante un algoritmo de gradiente descendente estocástico, ajustando iterativamente los pesos de las capas [**13**]. Esta etapa de aprendizaje permite determinar conjuntamente los pesos de las redes α y de la red β.

La invención ofrece en particular las siguientes ventajas:

- La compresión es potencialmente posible en cualquier tipo de señal;
- El procedimiento según la invención no requiere un modelo preciso de la forma de onda;
- La compresión se basa en la base de datos de 80 formas de onda que probablemente se encuentren en funcionamiento;
- La invención permite calcular directamente el TDOA, sin etapas adicionales potencialmente costosas, como la asociación de marcadores temporales entre sí o el cálculo de retardos por intercorrelación;
- La invención utiliza potencialmente cualquier marcador de tiempo presente en la señal, no sólo los flancos ascendentes de los pulsos;
- Si la red se ha entrenado correctamente, la representación de la señal obtenida a la salida de la compresión es eficiente porque conserva sólo la información útil para calcular el parámetro de interés: el TDOA ;
- Por último, la invención permite gestionar de forma sencilla la velocidad de transmisión de datos entre plataformas, controlando el tamaño de la capa de salida de los canales independientes.

Anexo

[1] Seuté, H., Grandin, J. F., Enderli, C., Khenchaf, A., & Cexus, J. C. (2015, junio). Por qué la sincronización es una cuestión clave en las Medidas de Apoyo Electrónico por módem. En Radar Symposium (IRS), 2015 16th International (pp. 794-799). IEEE.

[2] Fowler, M. L., y Chen, M. (2005). Compresión de datos basada en Fisher-inforrnación para la estimación mediante dos sensores. IEEE Transactions on Aerospace and Etectronic Systems, 41(3), 1131-1137.

[3] DesJardins, G. A. (1996). Patente estadounidense nº 5.570.099. Washington, DC: Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos.

[4] Chen, M., & Fowler, M. L. (2005, marzo). Geometry-adaptive data compression for TDOA/FDOA location [wireless sensor network applications]. En Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Actas (ICASSP'05). Conferencia Internacional del IEEE sobre (Vol. 4, pp. iv-1069).IEEE.

[5] Vasudevan, L., Ortega, A., & Mitra, U. (2003, noviembre). Compresión específica de la aplicación para la estimación del retardo temporal en redes de sensores. En Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems (pp 243-254). ACM.

[6] Torrieri, D. J. (1977). Sistemas de umbrales adaptativos. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, (3), 273-280.

[7] Ho, K. C., Chan, Y. T., & Inkol, R. J. (1995). Estimación del tiempo de llegada de los puise a partir de las proporciones de las muestras de puise. Actas del IEEE-Radar, Sonar y Navegación, 142(4), 153-157.

[8] Seuté, H., Grandin, J. F., Enderli. Un procedimiento de localización pasiva de un transmisor inmóvil, Solicitud de patente PCT/EP2015/076227. WO2016083124A1,2015.

[9] Grandin, J. F., Bosser, L., Benvenuti, D., Tengstrand, G., Andersson, V., Hultman, P., ... & Johansson, A. (2011, septiembre). Solución del cuello de botella del enlace de datos para la localización MPEG. En Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (TIWDC/ESAV), 2011 Tyrrhenian International Workshop on (pp. 101-106).IEEE.

[10] Bromley, J., Guyon, I., LeCun, Y., Säckinger, E., & Shah, R. (1994). Verificación de firmas mediante una red neuronal "siamesa" de retardo temporal. En Advances in neural information processing systems (pp. 737-744).

[11] Zagoruyko, S., y Komodakis, N. (2015). Aprender a comparar parches de imágenes mediante redes neuronales convolucionales. En Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4353-4361).

[12] Yildirim, O., San Tan, R., & Acharya, U. R. (2018). Compresión eficaz de señales de ECG mediante autocodificadores convolucionales profundos. Investigación sobre sistemas cognitivos, 52, 198-211.

[13] Goodfellow,I., Bengio,Y., & Courville,A. (2016). Aprendizaje profundo.MIT press.

[14] Shaltaf, S. (2004). Estimación del retardo temporal basada en redes neuronales. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2004, 378-385.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de localización pasiva de un emisor de ondas radar mediante la medida de la diferencia de llegada, denominada TDOA, entre dos plataformas (A, B) de una señal emitida por dicho emisor, **caracterizado porque** dicho procedimiento utiliza una red neuronal global de tipo siamés (700, 73, 75) compuesta por dos redes neuronales, denominadas redes α, que tienen los mismos pesos y por una tercera red neuronal, denominada red β, que recibe como entrada los datos de salida de dichas redes α:

   - una primera red α dispuesta en una primera plataforma, que codifica las señales procedentes de dicho emisor mediante un conjunto de parámetros y transmite dichos parámetros a dicha red β ;
   - la segunda red α que está dispuesta en la segunda plataforma, codifica las señales procedentes de dicho transmisor mediante un conjunto de parámetros y transmite dichos parámetros a dicha red β ;

   Estando dicha red β entrenada para calcular el TDOA a partir de dichos parámetros recibidos de dichas redes α, estando dicha red global entrenada a partir de un conjunto de modelos de señal susceptibles de ser encontrados (86).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, dicho conjunto de modelos es generado a partir de un conjunto (80) de señales representativas, el procedimiento de generación de dicho conjunto comprende las siguientes etapas repetidas hasta obtener un número determinado de modelos:

   - Selección de una señal (81) de dicho conjunto (80);
   - Selección de una porción (82) de dicha señal;
   - Copia por duplicado (821, 822) de dicha porción ;
   - Introducción de un desfase temporal (83) en una de las copias. ;
   - Almacenamiento del modelo en una base de datos (86), estando dicho modelo compuesto de al menos :
   - dicha copia que forma una primera señal adecuada para ser presentada a la entrada de dicha primera red α ;
   - la copia desfasada en el tiempo que forma una segunda señal adecuada para su presentación a la entrada de dicha segunda red α ;
   - dicho desfase temporal (83), capaz de ser comparado con el TDOA calculado por dicha red β a partir de dicha primera señal y dicha segunda señal.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** se añaden ruidos o variabilidades (84) a dichas copias.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, **caracterizado porque** dichas selecciones son aleatorias.

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado porque** el desfase temporal se elige aleatoriamente.

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque**, para accionar dicha red global (73, 75), las señales primera y segunda de los modelos de dicho conjunto (86) se presentan sucesivamente a cada una de las entradas de dichas redes α, comparándose el TDOA calculado por dicha red β (92) con el desfase temporal asociado al modelo actual, ajustándose iterativamente los pesos de dichas redes α y de dicha red β en función del error resultante de cada comparación.

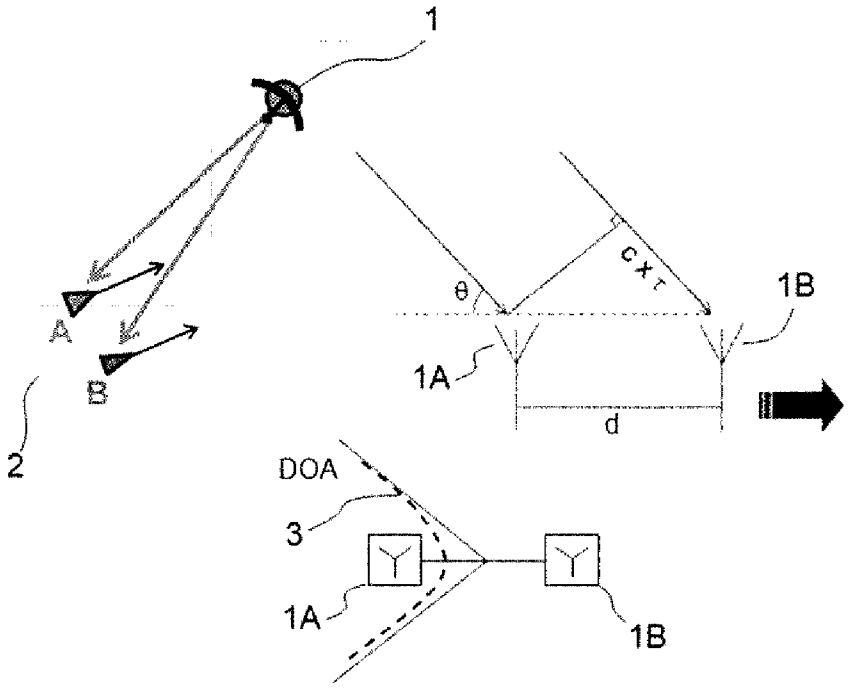
7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque** una función de coste se obtiene tomando el error cuadrático entre dicho desfase temporal (83) y el TDOA calculado a la salida de dicha red β, minimizándose dicha función de coste mediante un algoritmo de tipo gradiente descendente estocástico, ajustándose dichos pesos iterativamente.

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en cada una de dichas plataformas (A, B), la señal recibida de dicho emisor es captada por un receptor (71) que proporciona una descripción de dicha señal en forma digital, siendo dicha descripción una serie de muestras de dicha señal o una descripción en otro formato.

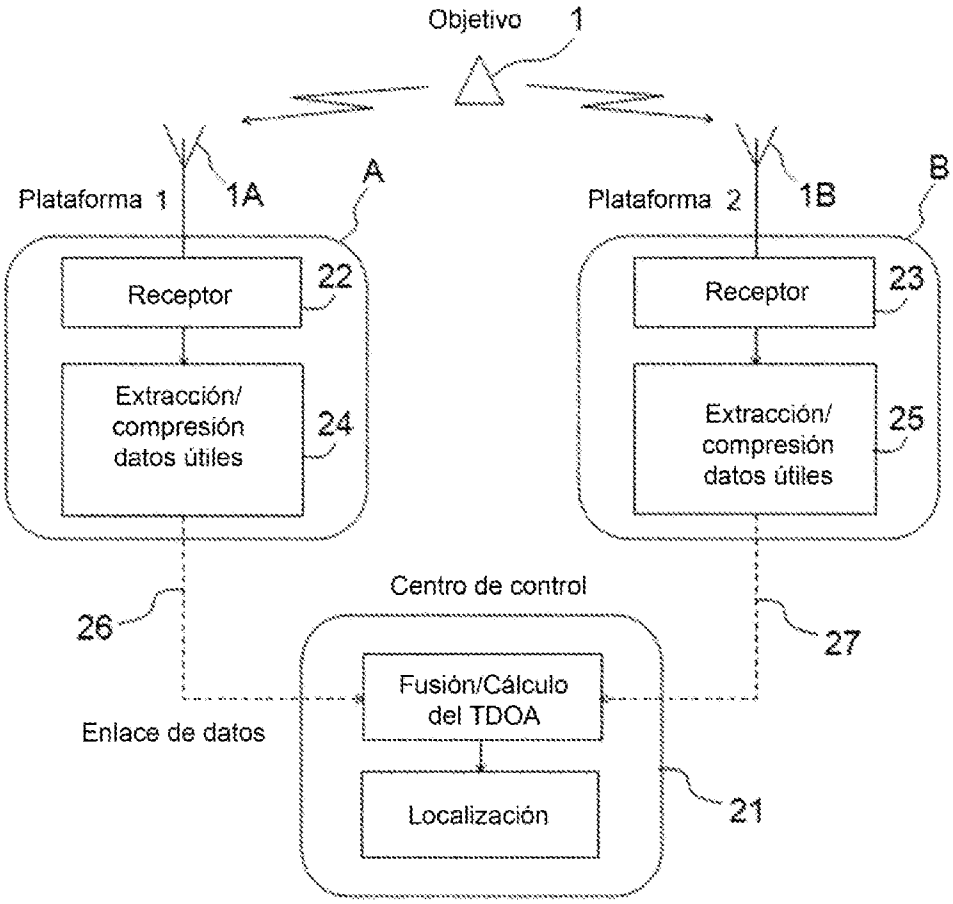
9. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha red β está dispuesta en una de dichas dos plataformas.

10. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha red β está dispuesta en una tercera plataforma.

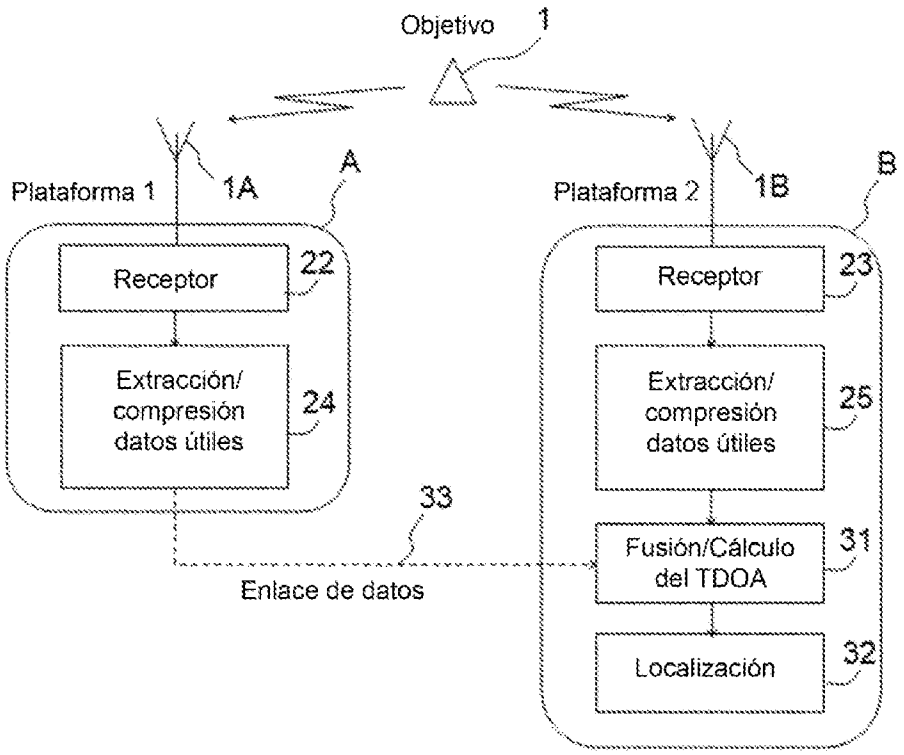
[Fig. 1]



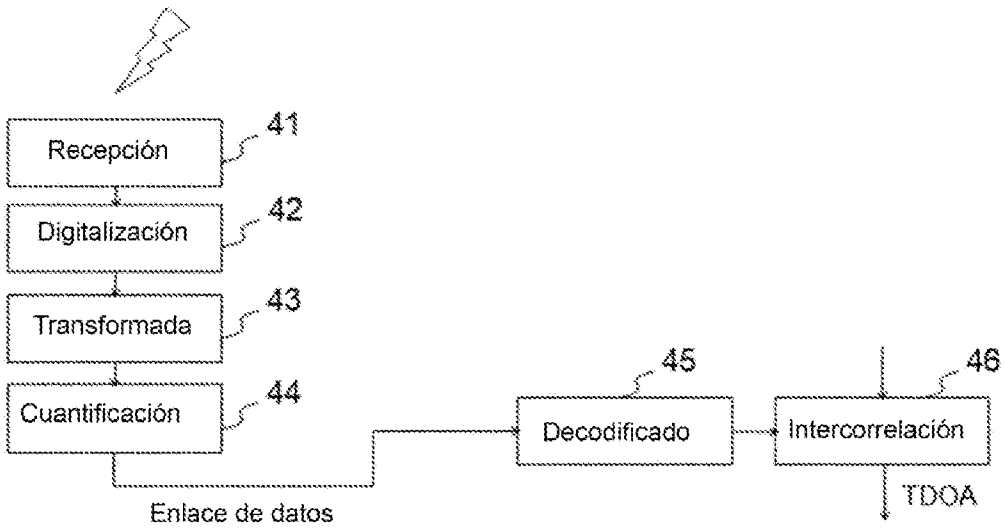
[Fig. 2]


Objetivo
1
Plataforma 1
1A
A
Receptor
22
Extracción/
compresión
datos útiles
24
Plataforma 2
1B
B
Receptor
23
Extracción/
compresión
datos útiles
25
Centro de control
26
27
Fusión/Cálculo
del TDOA
Enlace de datos
Localización
21

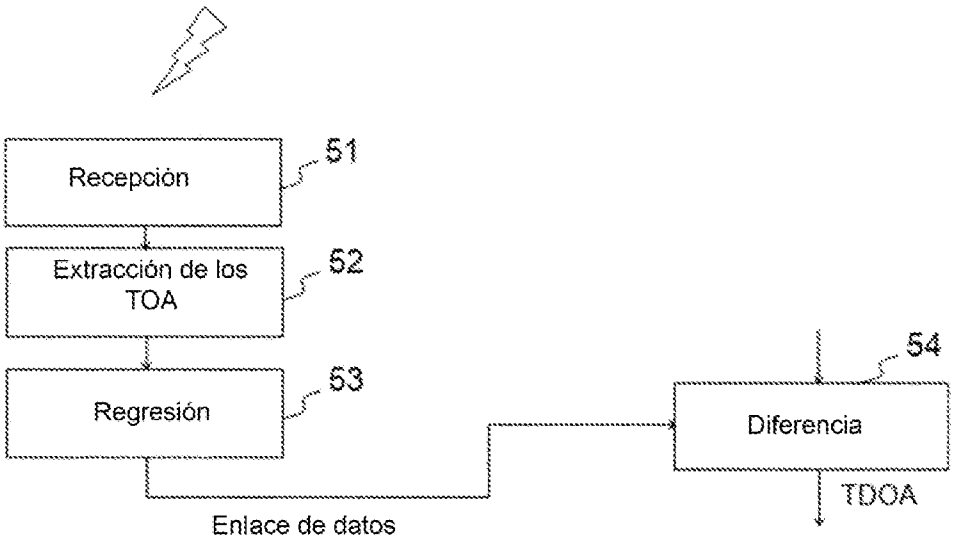
[Fig. 3]


Objetivo
1
Plataforma 1
1A
A
Receptor
22
Extracción/
compresión
datos útiles
24
33
Enlace de datos
Plataforma 2
1B
B
Receptor
23
Extracción/
compresión
datos útiles
25
Fusión/Cálculo
del TDOA
31
Localización
32

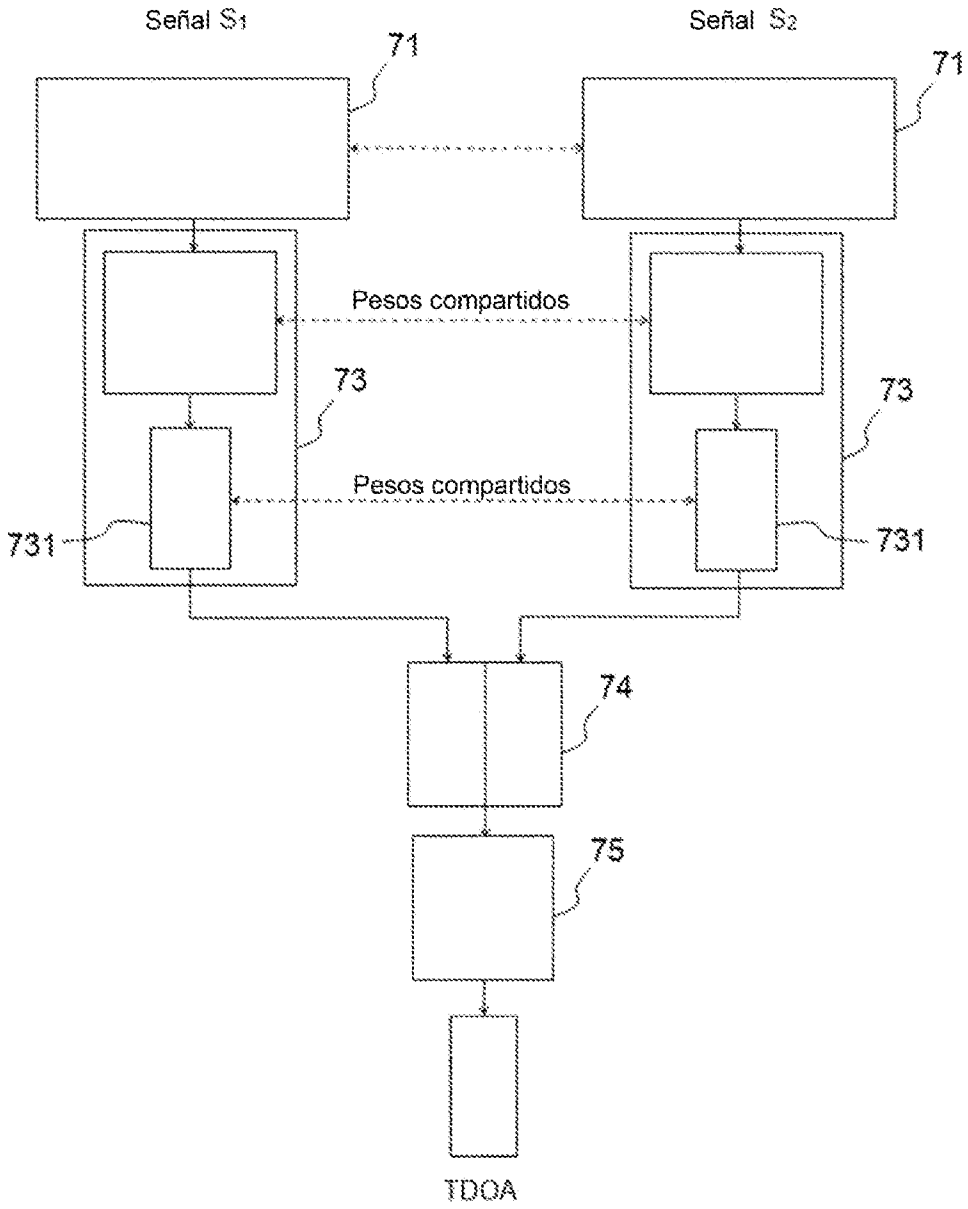
[Fig. 4]


Recepción
41
Digitalización
42
Transformada
43
Cuantificación
44
Enlace de datos
45
Decodificado
46
Intercorrelación
TDOA

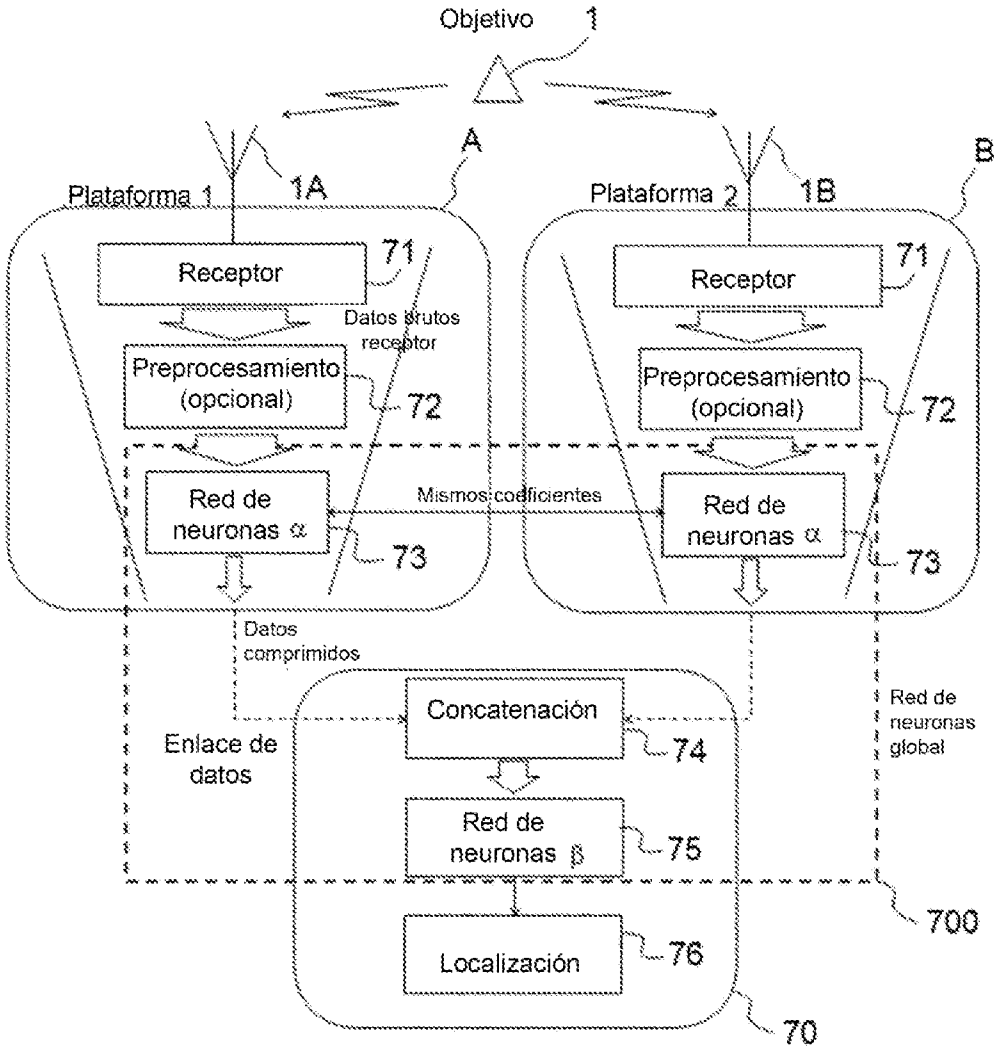
[Fig. 5]


Recepción
51
Extracción de los TOA
52
Regresión
53
Enlace de datos
54
Diferencia
TDOA

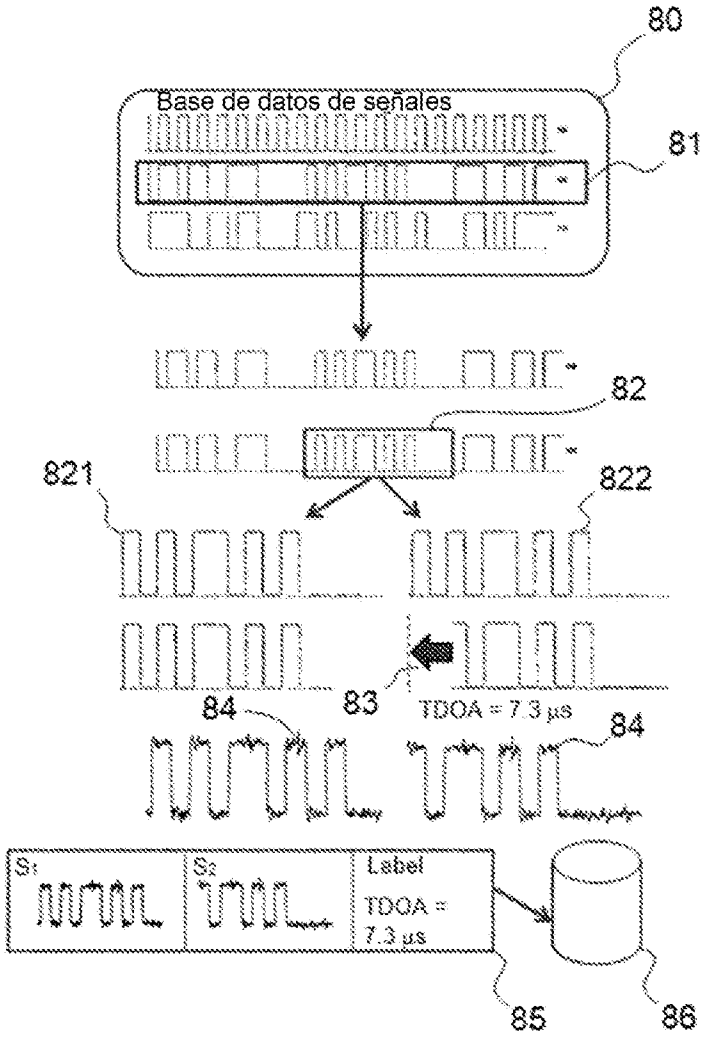
[Fig. 6]


Señal S_1
Señal S_2
71
71
Pesos compartidos
73
73
Pesos compartidos
731
731
74
75
TDOA

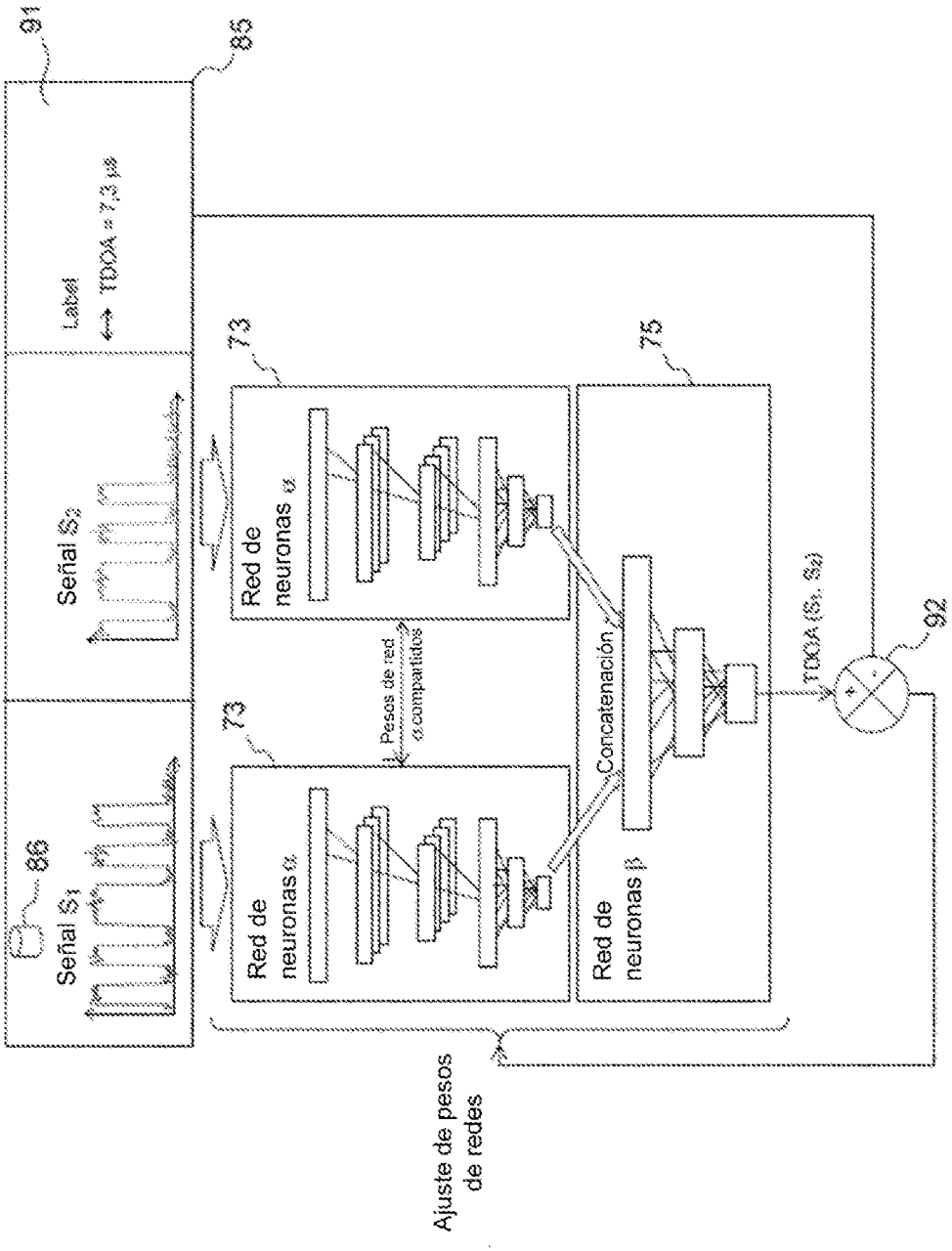
[Fig. 7]


Objetivo 1
A
B
Plataforma 1
1A
Plataforma 2
1B
Receptor
71
Datos brutos receptor
Preprocesamiento (opcional)
72
Red de neuronas α
Mismos coeficientes
73
Datos comprimidos
Concatenación
74
Enlace de datos
Red de neuronas β
75
Localización
76
70
Red de neuronas global
700

[Fig. 8]


80
Base de datos de señales
81
82
821
822
84
83
TDOA = 7.3 µs
84
S1
S2
Label
TDOA = 7.3 µs
85
86

[Fig. 9]


91
85
Label
TDOA = 7,3 μs
Señal S_2
73
Red de neuronas ø
75
Pesos de red ø compartidos
Concatenación
TDOA (S_1, S_2)
92
86
Señal S_1
73
Red de neuronas α
Red de neuronas β
Ajuste de pesos de redes