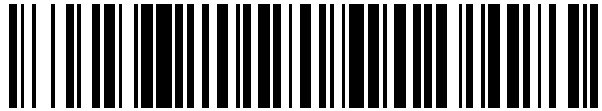


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 281**

51 Int. Cl.:

H04B 1/10 (2006.01)

G01S 13/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2013 E 13425059 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2658132**

54 Título: **Método para la estimación y cancelación de retardo multitrayecto de señales electromagnéticas, en respuestas de SSR particulares**

30 Prioridad:

24.04.2012 IT RM20120175

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

22.01.2015

73 Titular/es:

**SELEX ES S.P.A. (100.0%)
Piazza Monte Grappa, 4
00195 Roma, IT**

72 Inventor/es:

DE MARCO, PATRIZIO

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 527 281 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

Método para la estimación y cancelación de retardo multitrayecto de señales electromagnéticas, en respuestas de SSR particulares

5 La presente invención se refiere a un método para la estimación y cancelación de retardo multitrayecto de señales electromagnéticas, en particular respuestas de SSR particulares.

10 Más en detalle, la presente invención se refiere a un método para la estimación y corrección del retardo multitrayecto, mediante el análisis de la distorsión de la función de autocorrelación de cada impulso único recibido con el de un impulso ideal; sobre la base de la distorsión obtenida con respecto a la función de correlación ideal, uno deriva de nuevo la variación de los parámetros de impulso y estima el efecto del multitrayecto a ser tenido en cuenta para compensación en la estimación del tiempo de llegada (TOA) de la señal electromagnética.

15 Con el término "multitrayecto" se entiende el fenómeno de superposición de una onda electromagnética, que está siendo recibida, con las reflexiones de la misma generadas por el entorno circundante, que experimentan diferentes atenuaciones (véase la Figura 1). Como consecuencia del multitrayecto, el receptor RX se alcanza, junto con la señal directa transmitida por la fuente TX a lo largo de la línea de vista (LOS), también por la señal que ha recorrido diferentes trayectos y ha alcanzado el receptor RX después de reflexiones posteriores en los objetos circundantes, consecuentemente con un retardo de tiempo con respecto a la señal directa. El problema del multitrayecto está presente en muchos sistemas de RF, por ejemplo receptores GPS, receptores GSM, etc.

20 Es muy importante la estimación y cancelación del retardo multitrayecto en las respuestas de SSR de los sistemas de vigilancia aéreos. Un sistema de localización aéreo utilizado es la multilateración, tanto local en el aeropuerto (en tierra) como en las zonas de aproximación (en el aire), tanto TMA (Asesor de Gestión de Tráfico) en el aire de área extensa como "En Ruta", aunque la técnica se puede usar en otros dominios no aeronáuticos.

25 La multilateración es un sistema de localización de objetivos basado en la medición del tiempo de llegada (TOA) de las respuestas de SSR transmitidas por el mismo objetivo. Como "objetivo" se entiende cualquier aeronave dotada con un transpondedor de aviónica adecuado para transmitir respuestas de SSR en modo A/C/S. El sistema de multilateración permite estimar la posición del transpondedor usando las mediciones de TOA de la señal transmitida por el objetivo y recibida por los diferentes sensores distribuidos en diferentes posiciones, que se conocen con precisión de antemano. El escenario de aplicación de un sistema de multilateración es por lo tanto un escenario complejo donde las infraestructuras que están presentes en el aeropuerto juegan un papel fundamental en la generación del multitrayecto; en realidad las terminales, las áreas de aparcamiento, las aeronaves aparcadas, etc., son capaces de generar reflexiones y dar lugar a fenómenos de multitrayecto. El efecto del multitrayecto en el sistema es doble: por una parte, crea una condición de desplazamiento en la posición real del objetivo, por otra parte introduce un ruido en la estimación de la posición.

35 Haciendo referencia a los gráficos (a)-(g) de las figuras 2 y 3, como es conocido la multiparte tiene un efecto en el preámbulo de las respuestas en modo A/C/S. En el ejemplo, uno reproduce solamente el efecto en el modo S, con el nivel de la señal reflejada reducido en alrededor de 3/4 con respecto a las amplitudes de la señal de LOS directa (véase la Figura 1) en el receptor, en fase (figura 2) y en contrafase (figura 3). El ejemplo dado se refiere a un caso donde la señal reflejada por el objetivo se retarda en pasos de 200 ns con respecto al rayo de LOS directo.

40 La estimación del tiempo de llegada se efectúa usando un correlacionador adecuado, que correlaciona la señal recibida por el objetivo (con el multitrayecto superpuesto) con una matriz de preámbulo estándar adecuada que se carga previamente en el mismo receptor. De tal manera, de una forma conocida, uno obtiene el tiempo de llegada en correspondencia del máximo de la función de correlación.

45 El fenómeno de multitrayecto tiende a deformar la señal que saca el correlacionador con un efecto posterior en la estimación del tiempo de llegada. Lo anterior se confirma en la figura 4. Como uno puede observar, la función de correlación (figura 4 (b)) experimenta una deformación que provoca el cambio del pico de correlación y por lo tanto un error en la estimación del tiempo de llegada. En la figura 5 uno da los efectos del multitrayecto en la estimación del tiempo de llegada en el único impulso de SSR como una función de:

- el porcentaje (K) de amplitud de señal reflejada con respecto a la de la señal directa;
 - el retardo (en nanosegundos) de la señal reflejada con respecto a la directa;
 - la diferencia de fase entre las señales reflejadas y la directa (K positivo para todas las curvas por encima de
- 50 cero y K negativo para todas las curvas por debajo de cero): las curvas que tienen ordenadas de valor absoluto más grandes se refieren a valores absolutos de K mayores.

Como consecuencia, el error introducido es directamente proporcional a la amplitud de la onda reflejada, el gráfico de la figura 5 muestra una síntesis del error introducido por el multitrayecto en la estimación del tiempo de llegada de la LOS ideal y se parametriza para valores de la amplitud reflejada que oscilan desde 0,1 a 0,5 de la amplitud de

señal. Para valores de retardo por debajo de 100 ns, el efecto del retardo introducido por el multitrayecto se considera despreciable.

Es objeto de la presente invención proporcionar un método para la estimación (y la cancelación posterior) del retardo multitrayecto que resuelve los problemas y supera los inconvenientes de la técnica anterior.

5 Es una materia objeto de la presente invención un método para la estimación del tiempo de llegada de señales electromagnéticas afectadas por multitrayecto, en particular las respuestas de SSR, que comprende la ejecución de los siguientes pasos:

A1. Muestrear una señal electromagnética recibida por una antena, con un paso de muestreo $p > 0$ que produce $2k+1$ muestras con k un entero positivo;

10 A2. Cálculo de la función de autocorrelación de la señal electromagnética muestreada;

caracterizado por que ejecuta los siguientes pasos adicionales:

B. Para un impulso de dicha señal electromagnética y para cada valor de $m=1, \dots, M$, en donde m y M son enteros positivos, realizar los siguientes subpasos:

15 B1. Elegir un conjunto de N puntos en el lado derecho del máximo de dicha función de autocorrelación y N puntos en el lado izquierdo de dicho máximo, con N un entero positivo menor que k ;

B2. Calcular un primer polinomio interpolando los puntos de dicho conjunto de N puntos en el lado derecho y un segundo polinomio interpolando los puntos de dicho conjunto de N puntos en el lado izquierdo,

20 B3. Calcular el punto de intersección de dicho primer y dicho segundo polinomio de interpolación y la distancia en abscisas T_m entre dicho punto de intersección y el máximo de dicha función de autocorrelación, T_m que representa un valor de estimación del efecto del multitrayecto;

C. Comenzando desde una señal electromagnética ideal con impulsos iguales que tienen periodicidad T^l :

C1. Retardar cada impulso de dicha señal electromagnética ideal en un tiempo predefinido diferente hasta que uno encuentra la misma periodicidad T^l , obteniendo una señal retardada;

25 C2. Multiplicar L veces, con L un entero positivo, la señal retardada del paso C1 por un coeficiente h diferente cada vez, h que es un número real comprendido entre -1 y 1 y sumar el resultado de la multiplicación a dicha señal electromagnética ideal, obteniendo L señales electromagnéticas compuestas que simulan diferentes efectos de multitrayecto y para las cuales uno sabe por construcción el tiempo de llegada ideal en ausencia de multitrayecto;

30 C3. Estimar el tiempo de llegada de cada una de dichas L señales electromagnéticas compuestas, obteniendo una estimación del tiempo de llegada que tiene por construcción un error de estimación debido al efecto del multitrayecto, que se calcula como una diferencia entre el tiempo de llegada ideal y el tiempo de llegada estimado;

35 C4. Ejecutar los pasos A1, A2, B1, B2, B3 en dicha señal electromagnética compuesta, obteniendo $L \times M$ valores simulados para la distancia en abscisas $T_{1,1}^S \dots T_{M,L}^S$ entre dicho punto de intersección y el máximo de dicha función de autocorrelación para los L impulsos electromagnéticos compuestos;

C5. Asociar a cada uno de dichos $L \times M$ valores simulados de distancia $T_{1,1}^S \dots T_{M,L}^S$ el error de estimación correspondiente $e_{1,1}^S \dots e_{M,L}^S$;

40 D. Individualizar entre los valores $T_{1,1}^S \dots T_{M,L}^S$ los valores simulados $T_1^S \dots T_M^S$ más cerca de los valores $T_1 \dots T_M$ del paso B;

E. Asociar a dichos valores $T_1 \dots T_M$ los errores de estimación relevantes a los valores $T_1^S \dots T_M^S$;

F. Utilizar un análisis estadístico de la distribución de errores de estimación obtenidos en el paso E, para reducir la desviación estándar de dicha distribución y seleccionar un subconjunto $e_1 \dots e_v$ de los valores de estimación más cercanos entre sí;

45 G. Realizar una media de dichos $e_1 \dots e_v$, obteniendo un valor medio que se supone que es el error de estimación de dicha señal electromagnética recibida por una antena.

El análisis estadístico referido aquí se hace según la técnica conocida, hay muchas formas en la literatura para reducir la desviación estándar.

Preferiblemente según la invención, el paso C5 se realiza como construcción de una tabla de búsqueda y los pasos E y D se realizan usando dicha tabla de búsqueda.

Prácticamente, el uso de la tabla de búsqueda implementa un mecanismo de mejor ajuste, comparando los coeficientes encontrados con los valores de los multitrayectos relevantes para las curvas simuladas; la comparación también se puede realizar buscando el mínimo de una funcional que incluye todos los coeficientes encontrados y simulados.

- 5 El número real h representa cómo la señal reflejada se enfrenta con la señal de la LOS y tiene en cuenta la fase también. Uno observa que un mínimo aumento del retardo puede no ser menor que el paso de muestreo.

Preferiblemente según la invención, los subpasos B1-B3 del paso B se ejecutan:

- 10 B1. Eligiendo dos pares de puntos simétricamente en un lado y el otro del eje de ordenadas que pasan por el punto máximo de la función de autocorrelación, que tiene las coordenadas $X_{1,m}, Y_{1,m}, X_{2,m}, Y_{2,m}$ para el primer par en el lado izquierdo de dicho eje y $X_{3,m}, Y_{3,m}, X_{4,m}, Y_{4,m}$ para el segundo par en el lado derecho de dicho eje;

B2. Calculando los dos coeficientes angulares a_m^L, a_m^R de las dos líneas rectas que pasan respectivamente por los puntos de dicho primer y dicho segundo par de puntos;

B3. Calculando un valor de estimación T_m del efecto del multitrayecto según la relación:

15
$$T_m = (Y_{1,m} - Y_{4,m}) + d/2 ((a_m^L + a_m^R)/(a_m^L - a_m^R))$$

en donde d es la distancia de los dos puntos de los dos pares inmediatamente cercanos al eje que pasa por el máximo de dicha función de autocorrelación.

Preferiblemente según la invención, el número de valores de dicha tabla de búsqueda depende del paso de muestreo de tiempo p del muestreo del paso A1.

- 20 Preferiblemente según la invención, dicha señal electromagnética está constituida por una respuesta de SSR y los pasos desde A a G se aplican a cada impulso único de dicha respuesta de SSR, obteniendo de esta manera una pluralidad correspondiente de valores de retardo multitrayecto, dicha pluralidad de valores que experimentan un análisis estadístico adicional para determinar el mejor valor de estimación del retardo multitrayecto para la respuesta de SSR entera.

- 25 Por ejemplo, el análisis estadístico puede determinar y eliminar valores posibles correspondientes a distorsiones de la señal, que no dependen del efecto del multitrayecto y calcular la media de los valores buenos como el valor final del multitrayecto.

- 30 Es materia objeto específica de la presente invención un programa de ordenador caracterizado por que comprende medios de código configurados para llevar a cabo, cuando se opera en un ordenador, la materia objeto del método de la invención.

Es materia objeto específica de la presente invención un soporte de memoria tangible legible por un ordenador, caracterizado por que el programa de ordenador de la invención se memoriza en él.

Es materia objeto específica de la presente invención un elaborador electrónico, caracterizado por que el programa de ordenador materia objeto de la invención se instala en él.

- 35 La invención se describirá a modo de ilustración pero no a modo de limitación, con referencia particular a los dibujos de las figuras adjuntas, en donde:

- la figura 1 muestra un esquema de una situación en donde se crea un efecto del multitrayecto, según la técnica conocida;

- 40 - la figura 2 muestra ejemplos del efecto del multitrayecto en el preámbulo de las respuestas en modo S en donde el nivel de la señal reflejada se reduce alrededor de 3/4 con respecto a la señal que llega desde la LOS del receptor, tanto en fase como con tiempos de retardo variables (con pasos de 200 ns, cinco pasos) con respecto a los rayos de LOS directos, con una señal multitrayecto en fase según la técnica anterior;

- la figura 3 muestra una situación igual a la de la figura 2, pero en el caso de contrafase;

- 45 - la figura 4 muestra un efecto de deformación de la señal que saca el correlacionador, debido al fenómeno de multitrayecto, que muestra en (a) el caso de autocorrelación ideal y en (b) el caso de autocorrelación real con multitrayecto;

- la figura 5 muestra un ejemplo de síntesis del error introducido por el multitrayecto y parametrizado para valores de la amplitud reflejada que oscilan desde 0,1 a 0,5 veces la amplitud de la señal, según la técnica conocida;

- 50 - la figura 6 muestra en (a) la función de correlación afectada por multitrayecto y en (b) una función de correlación que no está afectada por multitrayecto;

- la figura 7 muestra un diagrama de bloques y de flujo mezclados para ilustrar una parte del método según la invención, comenzando desde la recepción de las respuestas;
- la figura 8 muestra un diagrama de bloques y de flujo mezclados para ilustrar una parte del método según la invención;
- 5 - la figura 9 muestra un diagrama de bloques y de flujo mezclados para ilustrar una parte del método según la invención;
- la figura 10 muestra un ejemplo del desplazamiento en el tiempo de una señal ideal para los fines del método de la invención;
- 10 - la figura 11 muestra un diagrama de bloques de la generación del efecto del multitrayecto y el tratamiento de la señal posterior según la invención; y
- la figura 12 muestra la sección de tratamiento de señal de la figura 11 en más detalle.

Las señales (respuestas) recibidas por las diversas fuentes (directas o reflejadas) se filtran y convierten a frecuencias más bajas. Más tarde, se muestrean tales señales, pasando por lo tanto a la región del tiempo.

- 15 La estimación multitrayecto según la invención se realiza calculando de antemano la distorsión de por lo menos un impulso ideal único (en particular ventajosamente el primer impulso en el caso del modo S) de la señal por la función de autocorrelación para un número discreto de valores de retardo. En la figura 10, el desplazamiento en el tiempo se muestra para una señal ideal con impulsos que tienen un periodo T.

- 20 Sobre la base de la distorsión obtenida a partir de la función de correlación ideal (dada en la figura 4 (a)) uno puede inferir de nuevo a la variación de parámetros de los impulsos y estimar el efecto del multitrayecto a ser tenido en cuenta para compensación en la estimación del TOA.

El hecho de considerar un único impulso corresponde a la necesidad de aplicar el método de la invención en impulsos "limpios", es decir impulsos que no han sido destruidos por una interferencia de FRUIT ("Respuestas Falsas No Sincronizadas en el Tiempo", FRUIT).

- 25 La invención permite primero de todo estimar el desplazamiento generado por el multitrayecto en el tiempo de llegada (TOA). La técnica usa un mecanismo que evalúa para cada impulso de señal de SSR el efecto de la distorsión introducida por las respuestas reflejadas.

Una característica básica del método consiste en el muestreo de cada impulso de la señal de llegada con el paso de muestreo p, obteniendo 2k+1 muestras, es decir k muestras en el lado izquierdo del impulso máximo y k muestras en el lado derecho del impulso máximo.

- 30 Entonces se eligen uno o más subconjuntos de muestras, sobre las que se aplican las elaboraciones del método según la invención. Para cada subconjunto, un módulo estimador estima el efecto del multitrayecto en el impulso considerado.

- 35 En una realización preferida, cada módulo estimador evalúa la pendiente de la función de correlación (función en forma de campana dada en la figura 6 (a) en la forma ideal sin multitrayecto) en su lado izquierdo y lado derecho. En particular, la pendiente se obtiene usando diferentes pares de muestras, que forman dicho subconjunto. En lo que sigue, se da un ejemplo de dos líneas rectas de interpolación trazadas en la función de autocorrelación, con referencia a la figura 6.

- 40 Indiquemos con el superíndice "L" el elemento genérico (valor, coeficiente, de muestra) referidos al lado izquierdo de la función de correlación y con el superíndice "R" los elementos análogos referidos al lado derecho de la función de autocorrelación del impulso (en el lado izquierdo/derecho del eje de ordenadas que pasa por el máximo de la función de correlación). Indiquemos además con el subíndice m el contador (entero positivo) de los diversos subconjuntos de muestras con las cuales uno lleva a cabo la estimación. Las cuatro muestras tienen las coordenadas $X_{1,m}$, $Y_{1,m}$, $X_{2,m}$, $Y_{2,m}$ para el primer par en el lado izquierdo de dicho eje y $X_{3,m}$, $Y_{3,m}$, $X_{4,m}$, $Y_{4,m}$ para el segundo par en el lado derecho de dicho eje, en donde $X_{1,m}$ es simétrico a $X_{4,m}$ con respecto al eje así como $X_{2,m}$ es simétrico a $X_{3,m}$.

- 45 Aquí se tiene que señalar que cuando uno recibe el impulso y calcula la función de autocorrelación, uno individualiza el máximo y coloca el eje de ordenadas en correspondencia a dicho máximo. Comenzando desde los valores de las muestras, es posible derivar los coeficientes angulares de las líneas rectas que pasan a través del conjunto de cuatro puntos, indicados por a_m^L , a_m^R y dados por las siguientes expresiones:

$$a_m^L = \frac{C(X_{2,m}) - C(X_{1,m})}{X_{2,m} - X_{1,m}}$$

$$a_m^R = \frac{C(X_{4,m}) - C(X_{3,m})}{X_{4,m} - X_{3,m}}$$

en donde con C () se indica la función de autocorrelación anterior.

En el caso ideal, es decir, en ausencia de multitrayecto, los dos coeficientes a_m^L y a_m^R tienen un valor absoluto igual y la intersección de las dos líneas rectas correspondería a una abscisa igual a 0. En el caso de efecto del multitrayecto, los coeficientes llegan a ser diferentes y aparecerá un desplazamiento T_m en la abscisa, que se puede correlacionar con una variación del tiempo de llegada del impulso. Tal desplazamiento se calcula como:

$$T_m = C(X_{3,m}) - C(X_{2,m}) + d/2 (a_m^R - a_m^L)/(a_m^L - a_m^R) \quad (1)$$

La expresión (1) se deriva como sigue. Dejemos que $y_m^L = a_m^L x + b_m^L$ sea la ecuación de la línea recta relevante al lado izquierdo de la función de correlación y dejemos que $y_m^R = a_m^R x + b_m^R$ sea la ecuación de la línea recta relevante al lado derecho de la función de correlación.

Poniendo las dos integraciones previas de las dos líneas rectas en un sistema, uno encuentra el punto de intersección de las dos líneas rectas cuya abscisa representará el desplazamiento T_m del máximo de la función de correlación, como distorsionado debido al retardo multitrayecto, la función de correlación que se aproxima linealmente por la elección de las cuatro muestras. En particular uno encuentra que:

$$T_m = \frac{b_m^R - b_m^L}{a_m^L - a_m^R} \quad (2)$$

Ahora, uno tiene que $b_m^L = Y_{2,m} + a_m^L x d/2$ y $b_m^R = Y_{3,m} + a_m^R x d/2$, en donde d (igual a $X_{3,m} - X_{2,m}$) es la distancia genérica entre las dos muestras (la distancia en tiempo entre el punto máximo y el muestreo es por lo tanto d/2). Sustituyendo estas expresiones en la (2), uno obtiene entonces la estimación del desplazamiento:

$$T_m = (Y_{3,m} - Y_{2,m}) + d/2 (a_m^R - a_m^L)/(a_m^L - a_m^R) \quad (3)$$

La cual representa el desplazamiento de la función de correlación para los pares de muestras en el lado izquierdo de la función de correlación y en el lado derecho de la función de correlación.

Este principio se repite para diferentes elecciones de las cuádruples de muestras distribuidas adecuadamente a lo largo de la función de correlación. El uso de las muestras distribuidas permite estimar el multitrayecto con mayor precisión. El efecto que uno obtiene en la función de correlación es un conjunto de líneas rectas distribuidas a lo largo del frente de subida y el frente de caída.

En el caso particular de que las muestras $Y_{3,m}$ e $Y_{2,m}$ se elijan para cualquier cuádruple como la adyacente muestreada inmediatamente al punto máximo (a una distancia igual al paso de muestreo p), uno tendrá que $d = 2p$. Ventajosamente, la elección de las cuádruples continúa manteniendo fijas las muestras $Y_{3,m}$ e $Y_{2,m}$ y seleccionando las muestras $Y_{1,m}$ e $Y_{4,m}$ entre las restantes $2k - 4$ muestras representativas de la señal de respuesta.

La figura 7 ilustra el método general.

Haciendo referencia a la figura 8, para cada uno de estos pares de muestras, se evalúa, según (1), la contribución del multitrayecto introducido.

En la figura 8 cada bloque "Estimador de Coefic." calcula los coeficientes de las líneas rectas de aproximación relevantes a una única cuádruple. El bloque "Estimador Multitrayecto" correspondiente determina el valor de la estimación según (1) comenzando desde la salida del bloque "Estimador de Coefic.". Finalmente, las salidas de todos los bloques "Estimador Multitrayecto", que implementa la ecuación (1) para cada cuádruple se envían al bloque "Selector" en la figura 9 que evalúa la consistencia de la estimación y selecciona el valor de la corrección a ser aplicada al tiempo de llegada.

El bloque "selector" indicado en la figura 8 se puede implementar convenientemente por una tabla de búsqueda (LUT) y define una relación entre las salidas de los diferentes Estimadores multitrayecto y la estimación real del multitrayecto. En la figura 9, se da la representación simplificada del modelo con el bloque Selector.

La LUT es solamente una realización ejemplar de una comparación de los valores de retardos multitrayecto estimados con las curvas simuladas, cada curva simulada que está asociada unívocamente a rasgos multitrayecto predeterminados. La simulación se puede realizar por puro cálculo (software) o usando un aparato de simulación en donde uno aplica una distorsión predeterminada de la señal. En lugar de la LUT, uno puede minimizar una funcional con los coeficientes de las líneas rectas estimadas y las líneas rectas relevantes a curvas simuladas equivalentes a los impulsos afectados por multitrayecto, para determinar la curva simulada la cual reproduce mejor la estimación y el valor de desplazamiento relevante.

La dimensión de la LUT es igual al número de las estimaciones multitrayecto efectuadas en tantas cuádruples. Obviamente, la dimensión de la LUT (número de valores para cualquier dimensión) se determina por el paso de muestreo de tiempo.

5 Resumiendo, múltiples bloques de Estimador Multitrayecto evalúan las diferentes correcciones del tiempo de llegada T_m para diferentes valores de m , estimando la distorsión basada en un modelo matemático capaz de evaluar con precisión la variación de los parámetros característicos de los impulsos recibidos con respecto a los de un impulso ideal, como se describió anteriormente. La salida de estos estimadores de distorsión es un valor que sintetiza el efecto de la distorsión introducida por el multitrayecto.

10 Posteriormente, uno selecciona el valor de estimación más coherente e identifica una correspondencia unívoca entre el desplazamiento introducido por el multitrayecto en la respuesta de SSR y el valor coherente antes mencionado. Las operaciones de selección y determinación de correspondencia conmutan y por lo tanto se pueden ejecutar en cualquier orden.

La selección del valor coherente se efectúa por un análisis estadístico de la distribución de los valores estimados o simulados.

15 La individualización de la correspondencia se expresa por medio de una función (LUT) que asocia a cada uno de los parámetros sintéticos de la respuesta de SSR un valor de desplazamiento en el tiempo en la estimación del tiempo de llegada.

En lugar de las muestras cuádruples, uno puede utilizar cualquier número de muestras (al menos tres) y encontrar el mejor polinomio de correlación y usar entonces la LUT o la funcional como anteriormente.

20 La figura 11 muestra la generación de un efecto del multitrayecto con la detección de una aeronave o un coche. La sección de tratamiento en la parte inferior comprende un bloque de circuitería de entrada de RF y una FPGA que ejecuta el método descrito anteriormente.

La figura 12 muestra la sección de tratamiento en más detalle, según un aspecto de la invención.

El bloque de circuitería de entrada de RF incluye:

- 25
- un primer Filtro de RF;
 - un primer LNA (Amplificador de Bajo Ruido);
 - un segundo Filtro de RF;
 - un oscilador local;
 - un mezclador que mezcla las señales del oscilador local y la señal filtrada (este paso cambia la señal a otra
- 30
- banda, por ejemplo IF o banda base);
 - uno o más Segundos LNA;
 - uno o más ADC (Convertidor Analógico a Digital).

35 La FPGA incluye un Bloque de Filtro Adaptado para calcular la función de autocorrelación, un Estimador de TOA para estimar el Tiempo de Llegada anteriormente mencionado, un Estimador Multitrayecto como se explicó anteriormente y el bloque con la función es la tabla de búsqueda anteriormente explicada. Además, un bloque decodificador extrae otra información a partir de la señal. También está presente una interfaz para recoger toda la información extraída y calculada y mostrar el resultado en una pantalla de aplicación de usuario. Entre la información dada por la interfaz, hay:

- TOA corregidos con la estimación multitrayecto;
- 40 - niveles de amplitud de las señales;
- bits de confianza relevantes a la información decodificada por el decodificador; y
- posibles gráficos extraídos.

Entre los rasgos innovadores de la presente invención, hay:

- 45
1. Cancelación del multitrayecto en tiempo real (aplicación del factor de corrección): un proceso de colaboración se ejecuta en tiempo real durante la decodificación de cada respuesta de SSR única;
 2. Estimación ponderada del desplazamiento, en base a la contribución de los desplazamientos únicos, asociados con las diversas respuestas y la confianza de los impulsos respectivos.

El método según la invención es aplicable a diversos campos de telecomunicaciones y en particular a los radares SSR.

5 Las realizaciones preferidas se han descrito anteriormente y algunas modificaciones de esta invención se han sugerido, pero se debería comprender que los expertos en la técnica pueden hacer variaciones y cambios, sin apartarse así del alcance de protección relacionado, como se define por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. El método para la estimación del tiempo de llegada de señales electromagnéticas afectadas por multitrayecto, en particular respuestas de SSR, que comprende la ejecución de los siguientes pasos:

5 A1. Muestrear una señal electromagnética recibida por una antena, con un paso de muestreo $p > 0$ que produce $2k+1$ muestras con k un entero positivo;

A2. Cálculo de la función de autocorrelación de la señal electromagnética muestreada;

caracterizado por que ejecuta los siguientes pasos adicionales:

B. Para un impulso de dicha señal electromagnética y para cada valor de $m=1, \dots, M$, en donde m y M son enteros positivos, realizar los siguientes subpasos:

10 B1. Elegir un conjunto de N puntos en el lado derecho del máximo de dicha función de autocorrelación y N puntos en el lado izquierdo de dicho máximo, con N un entero positivo menor que k ;

B2. Calcular un primer polinomio interpolando los puntos de dicho conjunto de N puntos en el lado derecho y un segundo polinomio interpolando los puntos de dicho conjunto de N puntos en el lado izquierdo,

15 B3. Calcular el punto de intersección de dicho primer y dicho segundo polinomios de interpolación y la distancia en abscisas T_m entre dicho punto de intersección y el máximo de dicha función de autocorrelación, T_m que representa un valor de estimación del efecto del multitrayecto;

C. Comenzando desde una señal electromagnética ideal con impulsos iguales que tienen periodicidad T^l :

C1. Retardar cada impulso de dicha señal electromagnética ideal en un tiempo predefinido diferente hasta que uno encuentra la misma periodicidad T^l , obteniendo una señal retardada;

20 C2. Multiplicar L veces, con L un entero positivo, la señal retardada del paso C1 por un coeficiente h diferente cada vez, h que es un número real comprendido entre -1 y 1 y sumar el resultado de la multiplicación a dicha señal electromagnética ideal, obteniendo L señales electromagnéticas compuestas que simulan diferentes efectos de multitrayecto y para las cuales uno sabe por construcción el tiempo de llegada ideal en ausencia de multitrayecto;

25 C3. Estimar el tiempo de llegada de cada una de dichas L señales electromagnéticas compuestas, obteniendo una estimación del tiempo de llegada que tiene por construcción un error de estimación debido al efecto del multitrayecto, que se calcula como una diferencia entre el tiempo de llegada ideal y el tiempo de llegada estimado;

30 C4. Ejecutar los pasos A1, A2, B1, B2, B3 en dicha señal electromagnética compuesta, obteniendo $L \times M$ valores simulados para la distancia en abscisas $T_{1,1}^S \dots T_{M,L}^S$ entre dicho punto de intersección y el máximo de dicha función de autocorrelación para los L impulsos electromagnéticos compuestos;

C5. Asociar a cada uno de dichos $L \times M$ valores simulados de distancia $T_{1,1}^S \dots T_{M,L}^S$ el error de estimación correspondiente $e_{1,1}^S \dots e_{M,L}^S$;

35 D. Individualizar entre los valores $T_{1,1}^S \dots T_{M,L}^S$ los valores simulados $T_1^S \dots T_M^S$ más cerca de los valores $T_1 \dots T_M$ del paso B;

E. Asociar a dichos valores $T_1 \dots T_M$ los errores de estimación relevantes a los valores $T_1^S \dots T_M^S$;

F. Utilizar un análisis estadístico de la distribución de los errores de estimación obtenidos en el paso E, para reducir la desviación estándar de dicha distribución y seleccionar un subconjunto $e_1 \dots e_v$ de los valores de estimación más cercanos entre sí;

40 G. Realizar una media de dichos $e_1 \dots e_v$, obteniendo un valor medio que se supone que es el error de estimación de dicha señal electromagnética recibida por una antena.

2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que los subpasos B1-B3 del paso B se ejecutan:

45 B1. Elijiendo dos pares de puntos simétricamente en un lado y el otro del eje de ordenadas que pasan por el punto máximo de la función de autocorrelación, que tiene las coordenadas $X_{1,m}, Y_{1,m}, X_{2,m}, Y_{2,m}$ para el primer par en el lado izquierdo de dicho eje y $X_{3,m}, Y_{3,m}, X_{4,m}, Y_{4,m}$ para el segundo par en el lado derecho de dicho eje;

B2. Calculando los dos coeficientes angulares a_m^L, a_m^R de las dos líneas rectas que pasan respectivamente por los puntos de dicho primer y dicho segundo par de puntos;

B3. Calculando un valor de estimación T_m del efecto del multitrayecto según la relación:

$$T_m = (Y_{1,m} - Y_{4,m}) + d/2 ((a_m^L + a_m^R)/(a_m^L - a_m^R))$$

en donde d es la distancia de los dos puntos de los dos pares inmediatamente cercanos al eje que pasa por el máximo de dicha función de autocorrelación.

- 5 3. El método según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el paso C5 se realiza como construcción de una tabla de búsqueda y los pasos E y D se realizan usando dicha tabla de búsqueda.
4. El método según la reivindicación 3, caracterizado por que el número de valores de dicha tabla de búsqueda depende del paso de muestreo de tiempo p de la muestra del paso A1.
- 10 5. El método según cualquier reivindicación 1 a 4, caracterizado por que dicha señal electromagnética se constituye por una respuesta de SSR y los pasos desde A a G se aplican a cada impulso único de dicha respuesta de SSR, obteniendo de esta manera una pluralidad correspondiente de valores de retardo multitrayecto, dicha pluralidad de valores que experimentan un análisis estadístico adicional para determinar el mejor valor de estimación del retardo multitrayecto para la respuesta de SSR entera.
- 15 6. Un programa de ordenador caracterizado por que comprende medios de código configurados para llevar a cabo, cuando se opera en un ordenador, el método según cualquier reivindicación 1 a 5.
7. Un soporte de memoria tangible legible por un ordenador, caracterizado por que un programa de ordenador de la reivindicación 6 está memorizado en él.
8. Un elaborador electrónico, caracterizado por que el programa de ordenador de la reivindicación 6 está instalado en él.

20

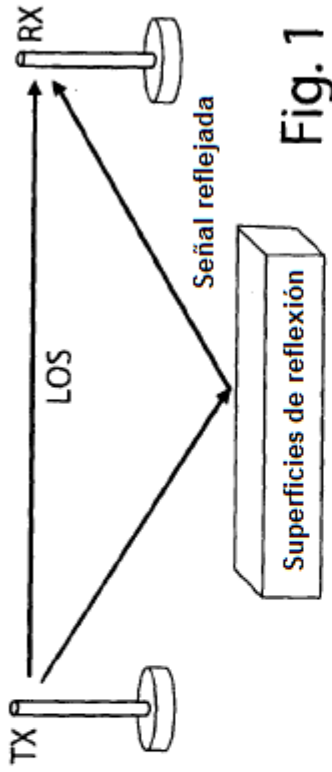


Fig. 1

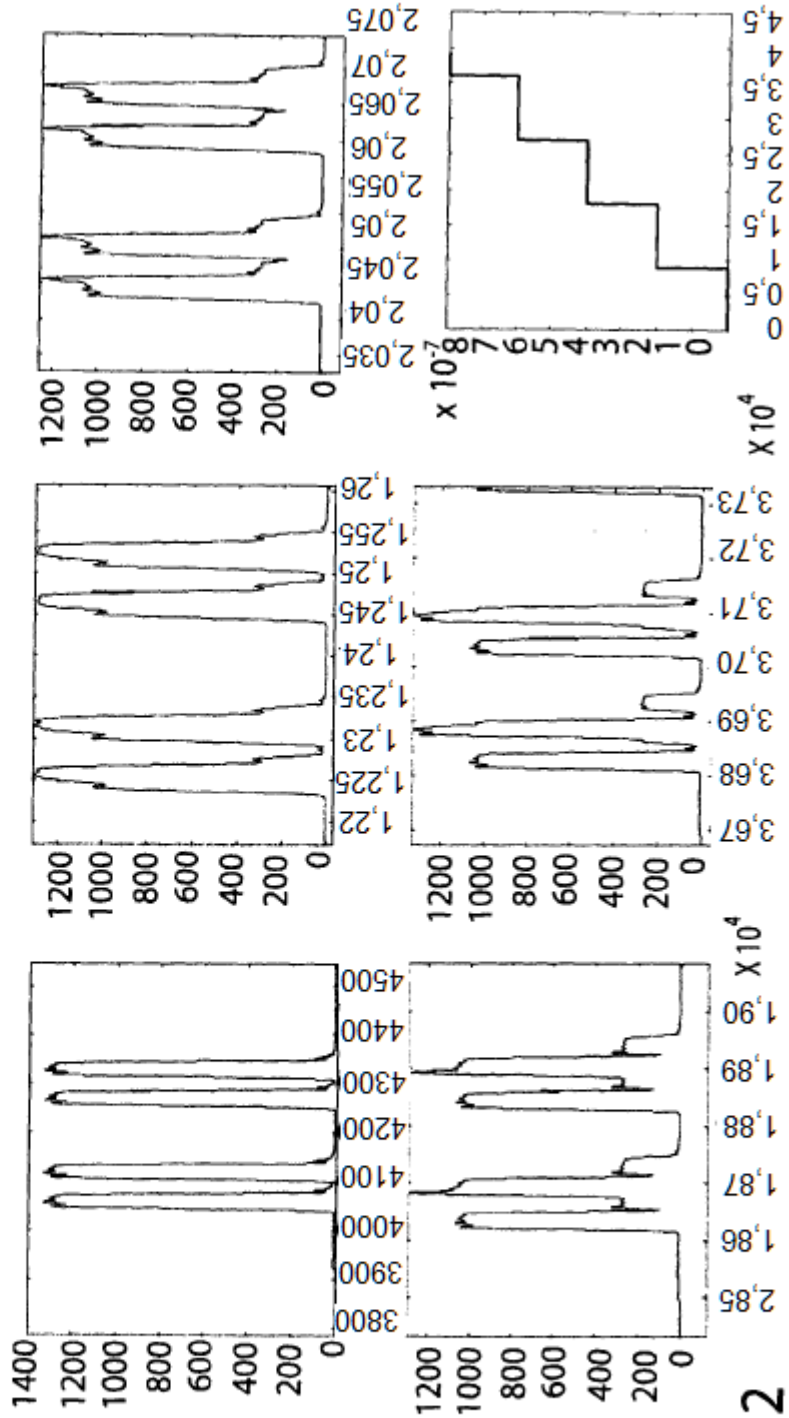


Fig. 2

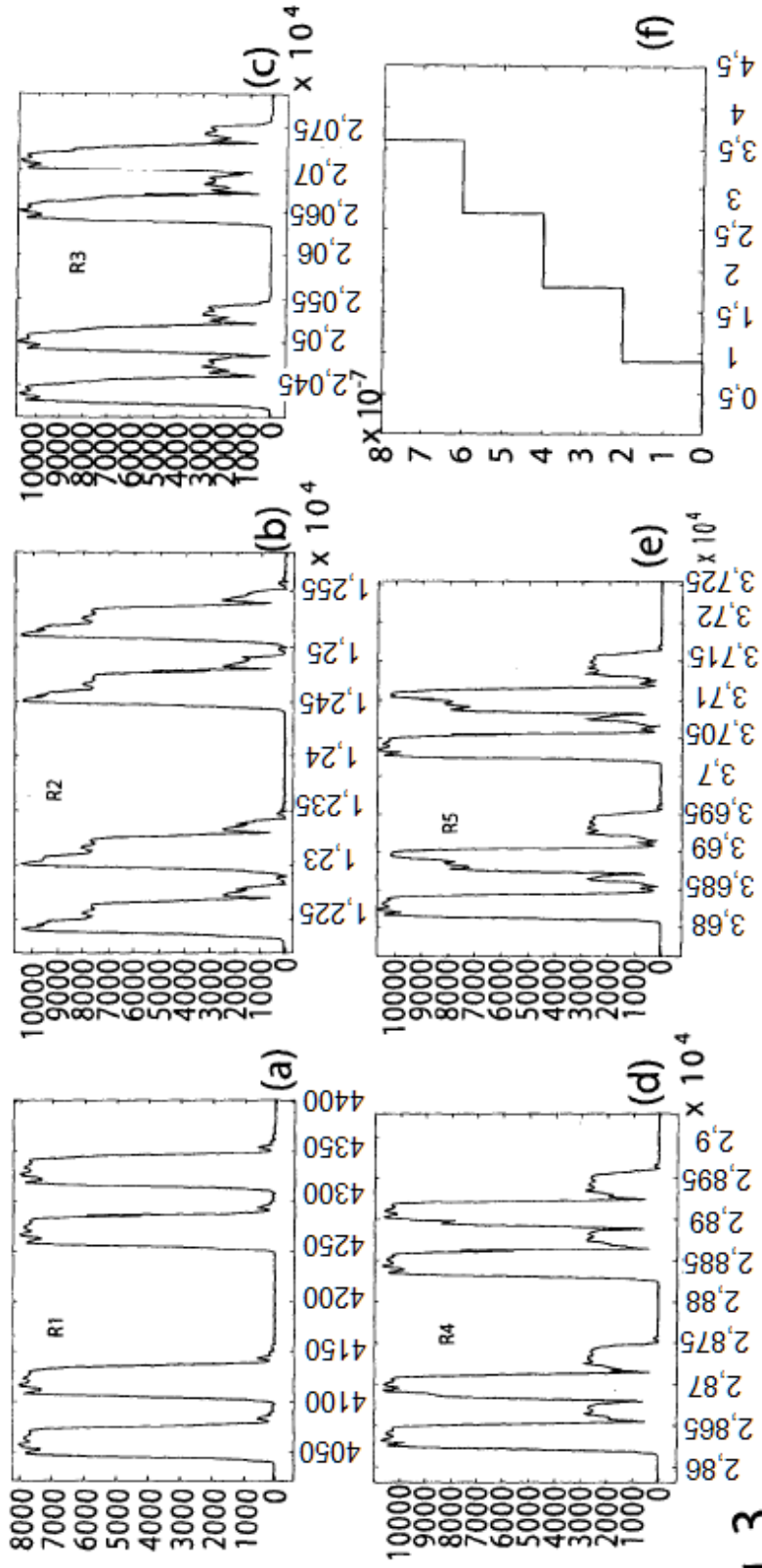


Fig. 3

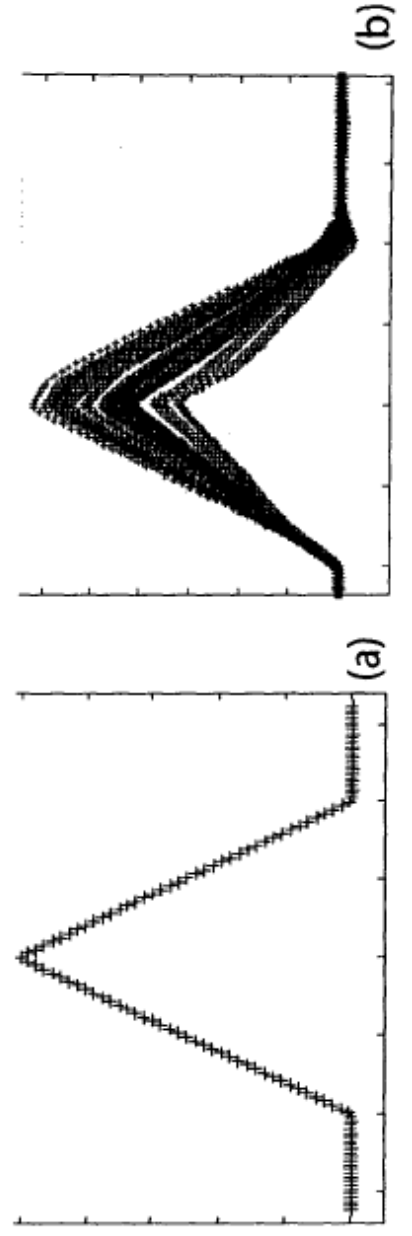


Fig. 4

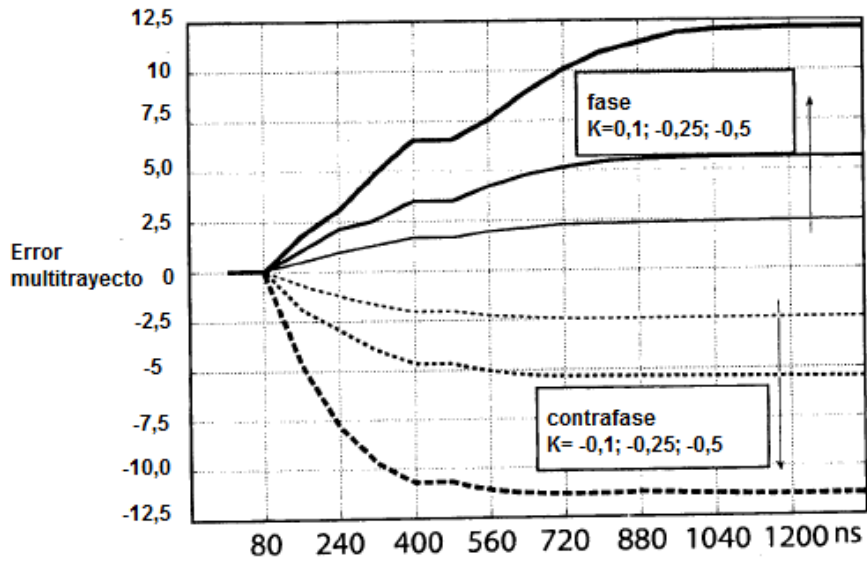


Fig. 5

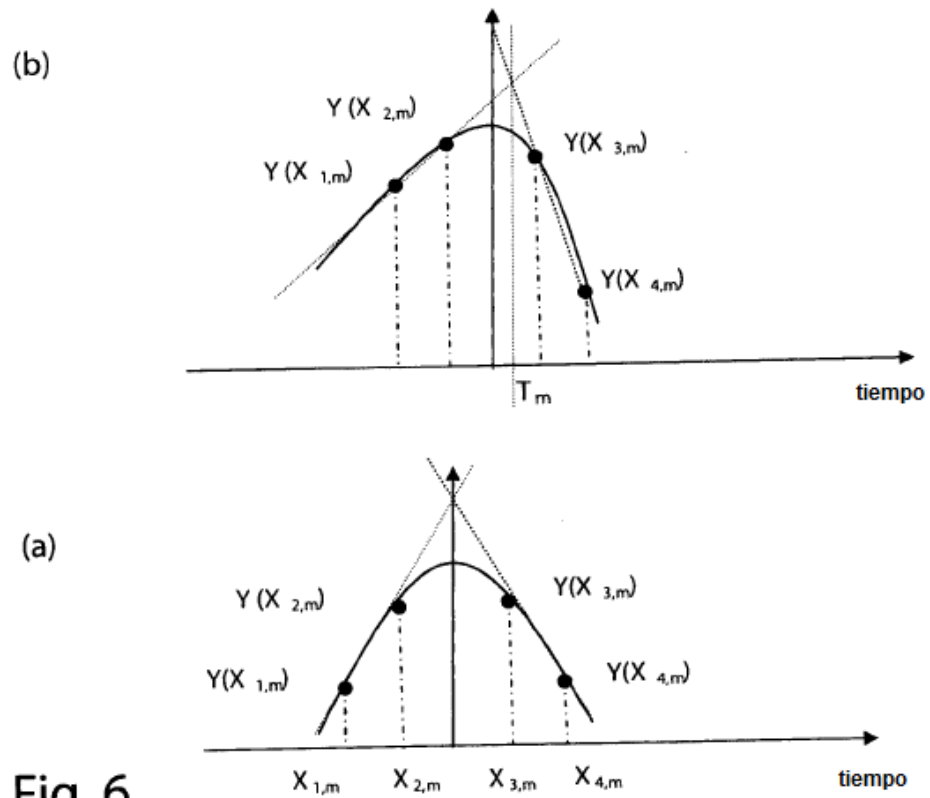


Fig. 6

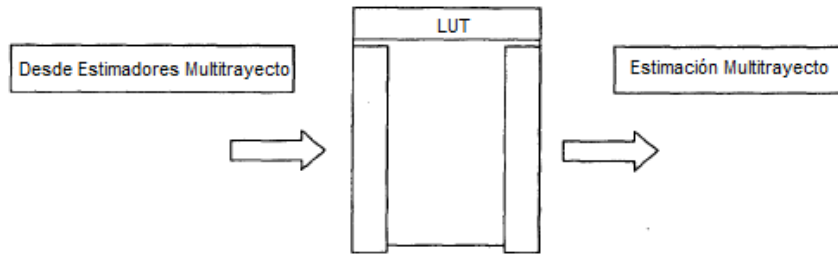


Fig. 9

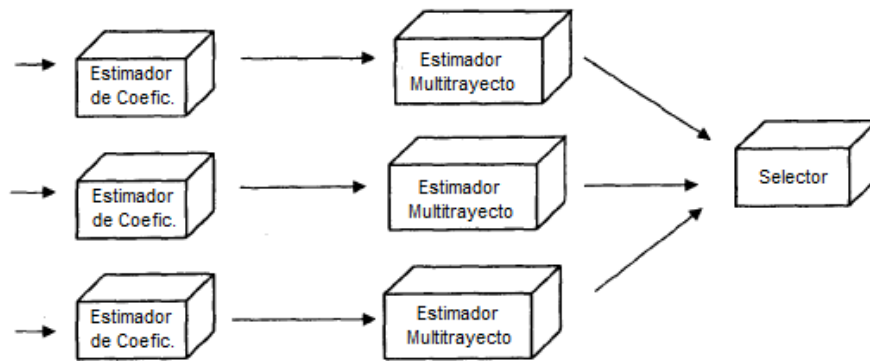


Fig. 8

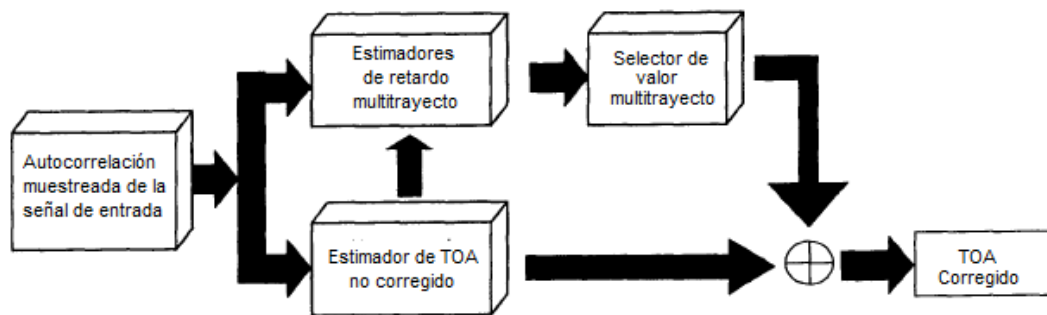


Fig. 7

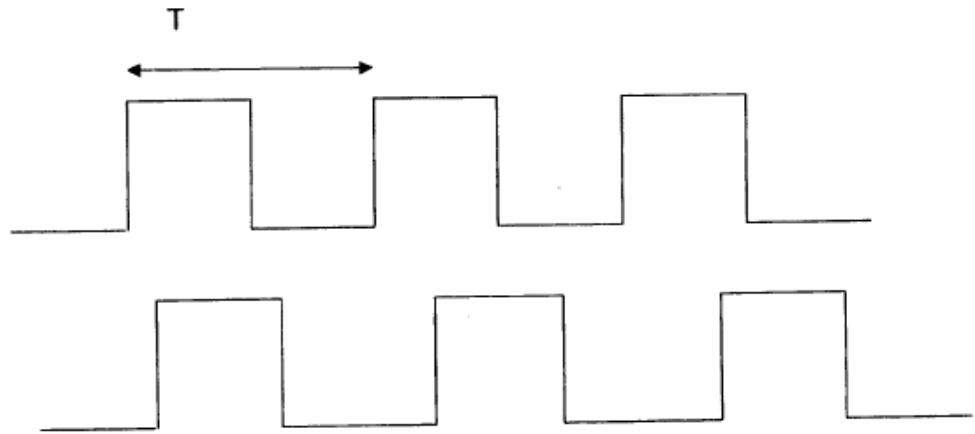


Fig. 10

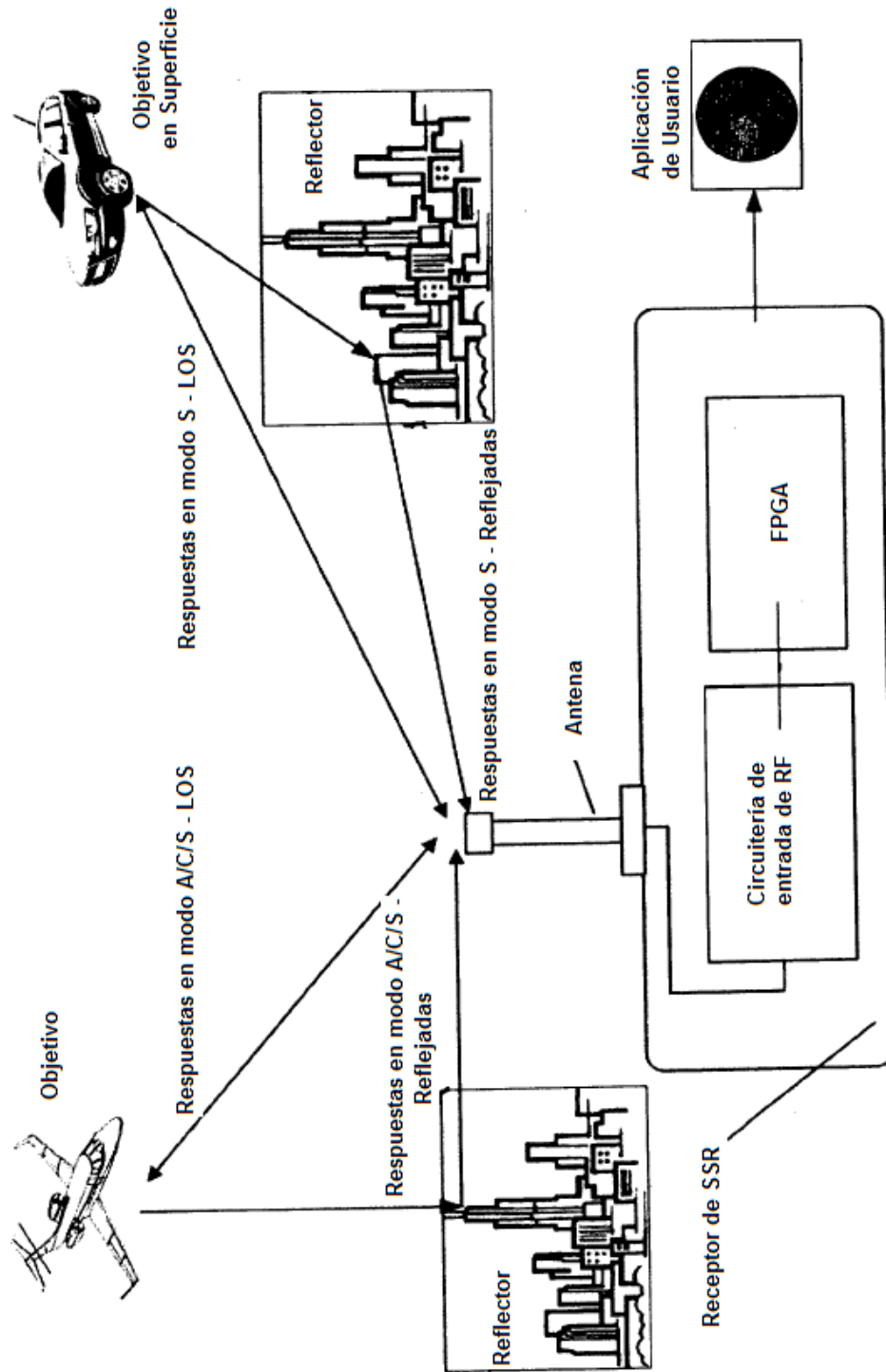


Fig. 11

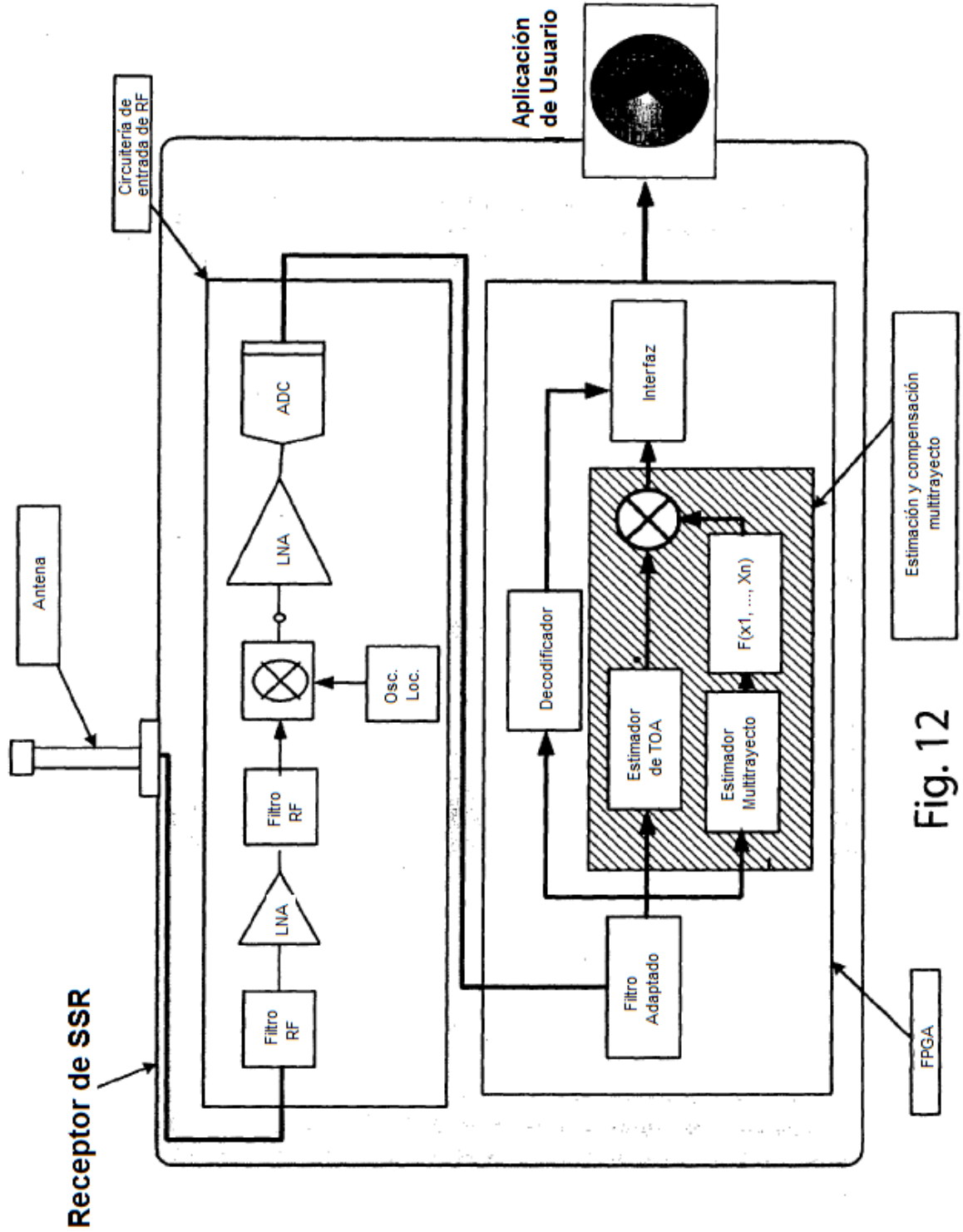


Fig. 12