

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 678 202**

51 Int. Cl.:

H04L 25/02 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2010** E 10015152 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018** EP 2328311

54 Título: **Método y sistema de estimación de ecos de un canal de comunicaciones**

30 Prioridad:

30.11.2009 ES 200902279

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

09.08.2018

73 Titular/es:

**SISTEMAS INTEGRADOS DE SERVICIOS DE
TELECONTROL, S.L. (100.0%)
C/ Volta do Castro s/n
15706 Santiago de Compostela, ES**

72 Inventor/es:

**LEDO GAVIERO, JOSÉ LUIS;
PAZ BUGALLO, BENITO MANUEL y
UCHA CUEVAS, MIGUEL ANGEL**

ES 2 678 202 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 Y SISTEMA DE ESTIMACIÓN DE ECOS DE UN CANAL DE COMUNICACIONES

5

Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un método y sistema para estimar ecos de un canal de comunicación que usa señales digitales de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 9.

10

Estado de la técnica

En todos los sistemas de comunicaciones digitales, el conocimiento del estado del canal es vital para el éxito de las transmisiones. La señal de información alcanza al receptor a través de uno o varios caminos de propagación, en función de las características del canal. Así, en las comunicaciones vía satélite, suele existir un único camino de propagación entre el satélite y el receptor. En los sistemas de comunicaciones terrestres es más común que la señal llegue al receptor a través de varios caminos; es lo que se conoce como "multitrayecto". El problema de la comunicación multitrayecto radica en que los distintos caminos de propagación pueden tener distintas longitudes y, en consecuencia, al receptor llegar la misma señal pero con distintos desfases temporales. Esto suele producir pérdidas importantes en la eficiencia de las trasmisiones ya que se produce lo que se conoce como "Interferencia entre Símbolos". Los sistemas de comunicaciones basados en OFDM contemplan la posibilidad de combatir este fenómeno introduciendo en la propia señal un "Intervalo de Guarda" (Intervalo (IG) para unir partes de mensajes). Este mecanismo de protección permite manejar eficientemente canales en los cuales el máximo retardo de eco no sobrepase la longitud del Intervalo de Guarda. Para la estimación del canal de comunicaciones se introducen señales piloto en la propia modulación que son conocidos por el receptor y ayudan a estimar el canal. Una vez conocido el canal ya se puede averiguar la amplitud y posición de los ecos del canal. En las modulaciones OFDM los pilotos se introducen en el dominio de la frecuencia. En otros tipos de modulaciones digitales los pilotos se introducen en el dominio del tiempo, multiplexados con los propios datos.

15

20

25

Sea cual sea la modulación utilizada y el patrón de pilotos insertados, los métodos empleados para la estimación de canal pasan por demodular la propia señal recibida. Este método se describe en el documento JP 2009 239345 A.

30

El inconveniente de este método radica en que si las condiciones del canal son muy malas, ya sea debido al nivel de ruido presente en el canal o a que los ecos del canal producen demasiada interferencia entre símbolos, no será posible estimar el canal de comunicaciones debido a que el receptor no podrá demodular la señal.

35

La ventaja de la presente invención frente a estos métodos es la falta de necesidad de demodular la señal y que no necesita de ningún tipo de pilotos para estimar los ecos del canal.

40

Existen otros métodos para la estimación de los ecos del canal basados en algoritmos de filtrado adaptativo, tales como el descrito en la patente ES2247916A1 titulada "Procedimiento y dispositivo de cancelación de ecos". La diferencia de la presente invención con la patente mencionada radica en que el método empleado para la estimación de los ecos es completamente diferente. La presente invención no utiliza ningún tipo de filtrado adaptativo para conseguir su propósito.

Las señales OFDM tienen una serie de parámetros parametrizables para ajustarse a las necesidades del canal. Así, es posible ajustar el ancho de banda de la señal, la duración del intervalo de guarda y el número de portadoras utilizadas. Los métodos empleados para averiguar estos parámetros y posteriormente demodular la señal están basados en realizar una autocorrelación de la señal recibida en posiciones temporales que se corresponden con las posibles duraciones de símbolo e intervalos de guarda.

Existen otros métodos de estimación de parámetros en OFDM como el propuesto en la patente EP2034685A1 titulada "Method for blindly estimating OFDM modulation parameters" en donde se utilizan estadísticos de cuarto orden de la señal OFDM.

El método propuesto en la presente invención aprovecha los cálculos realizados en la estimación de ecos del canal para averiguar los parámetros de modulación de la señal OFDM. En caso de utilizar una señal digital para la estimación de los ecos del canal que no tiene una modulación OFDM, esta segunda parte de la invención no es aplicable.

Descripción de la invención

La presente invención detalla un procedimiento para la obtención de los ecos del canal de comunicaciones existente entre un/unos transmisor/transmisores y un receptor, así como los parámetros de modulación empleados en modulaciones OFDM, sin la necesidad de realizar la demodulación de la señal recibida e independientemente de la modulación digital empleada en el sistema. Si la modulación empleada no es OFDM, la parte de la presente invención que detalla la estimación de parámetros OFDM no es aplicable.

El canal radio en un sistema de comunicaciones se puede modelar (sin la influencia del ruido) como

$$h(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \beta(k) \delta(t - \tau_k)$$

donde $\delta(t - \tau_k)$ es el rayo k que alcanza al receptor con un retardo de τ_k segundos con respecto al rayo $k=0$ que consideramos que llega con τ_0 siendo $\beta(k)$ su amplitud respectiva.

Por lo tanto vemos que la información llega al receptor por una serie de trayectorias distintas con distintas ganancias y distintas fases. De este modo se pueden distinguir los canales tipo Rice, en donde existe un camino principal ($k=0$) en el cual la amplitud de la señal recibida es notablemente superior a la de los demás, o los canales tipo Rayleigh en donde la amplitud de la señal recibida en todos los caminos es comparable. El primer caso se corresponde con un escenario donde el receptor es alcanzado por un rayo directo y varios rayos de menor amplitud producidos por reflexiones o difracciones en los elementos del entorno. En el caso de los canales Rayleigh todo los rayos que llegan al receptor son reflejados o generados por mecanismos de difracción en los elementos del entorno, sin existir un rayo directo entre el transmisor y el receptor.

Consideramos el caso en el que tenemos un rayo principal y N-1 secundarios, es decir, tenemos un canal tipo Rice. Si normalizamos la amplitud de los rayos por la del rayo principal tenemos que:

$$h(t) = 1 + \sum_{k=1}^{N-1} \alpha(k) \delta(t - \tau_k)$$

(Ecuación 1)

La respuesta en frecuencia del canal es:

$$H(\omega) = 1 + \sum_k \alpha(k) e^{j\omega\tau_k}, k \neq 0$$

5 donde, sin falta de generalidad, hemos obviado el parámetro N.

El módulo al cuadrado del canal en el dominio de la frecuencia viene expresado como:

$$\begin{aligned} |H(\omega)|^2 &= \left| 1 + \sum_k \alpha(k) e^{j\omega\tau_k} \right|^2 = \left(1 + \sum_k \alpha(k) \cos(\omega\tau_k) \right)^2 + \left(1 + \sum_k \alpha(k) \text{sen}(\omega\tau_k) \right)^2 = \\ &= 1 + \sum_k \alpha^2(k) \cos^2(\omega\tau_k) + 2 \sum_k \sum_j \alpha(k) \alpha(j) \cos(\omega\tau_k) \cos(\omega\tau_j) + \sum_k \alpha^2(k) \text{sen}^2(\omega\tau_k) + \\ &+ 2 \sum_k \sum_j \alpha(k) \alpha(j) \text{sen}(\omega\tau_k) \text{sen}(\omega\tau_j) \quad \forall k \neq j, k \neq 0, j \neq 0 \end{aligned}$$

10

Aplicando diversas igualdades trigonométricas obtenemos que:

$$\begin{aligned} |H(\omega)|^2 &= 1 + \sum_k \alpha^2(k) + 2 \sum_k \sum_j \alpha(k) \alpha(j) \cos(\omega(\tau_k - \tau_j)) + 2 \sum_k \alpha(k) \cos(\omega\tau_k) \\ &\forall k \neq j, k \neq 0, j \neq 0 \end{aligned}$$

15

(Ecuación 2)

Si a la anterior expresión le aplicamos la Transformada de Fourier Inversa (IFFT) el resultado es:

$$h_g(t) = c_0 \delta(t) + \sum_k \sum_j c_{kj} \delta(t - |\tau_k - \tau_j|) + \sum_k c_k \delta(t - \tau_k)$$

20

$$\forall t \geq 0, \forall k \neq j, k \neq 0, j \neq 0$$

(Ecuación 3)

donde

25

$h_g(t)$ es la respuesta estimada obtenida

$$c_0 = 1 + \sum_k \alpha^2(k) \quad \text{es el nivel del rayo principal con la contribución de los demás rayos,}$$

$$c_{kj} = 2\alpha(k)\alpha(j) \quad \text{es el nivel de la réplica generada por los rayos k y j.}$$

$$c_k = 2\alpha(k) \quad \text{es el nivel del rayo k.}$$

Analizando la Ecuación 3 podemos distinguir, podemos distinguir:

30

En $t = 0$ la componente del rayo principal y una contribución de la amplitud de los demás rayos que componen la respuesta del canal.

$$\text{En } t = |\tau_k - \tau_j| \text{ la réplica debida a los rayos k y j.}$$

En $t = |\tau_k|$ la influencia del rayo k.

Para poder obtener la respuesta del canal con la mínima influencia posible de la señal transmitida, utilizamos como parte del espectro aquella correspondiente a la zona plana de los canales digitales de DVB-T/T2, DVB-C/C2, DVBS/ S2 o cualquier otro tipo de modulación cuyo espectro posea una zona plana, tal y como vemos en la Figura 1 marcada con la zona sombreada.

Una vez obtenida la respuesta en tiempo del canal a través de la IFFT, se deben eliminar las réplicas que aparecen en las posiciones debido a los productos de los cosenos, tal y como se puede observar en las ecuaciones expresadas más arriba. Esto se puede hacer a través de un algoritmo iterativo de búsqueda, una vez detectada la posición de los máximos y su nivel. Para ello, seguimos el siguiente procedimiento:

1. Calcular la respuesta en tiempo del canal tal y como se expresa en las ecuaciones descritas más arriba.
2. Normalizar la respuesta obtenida para que el valor máximo sea conocido. Esto se puede hacer en unidades logarítmicas para que las operaciones sean más sencillas.
3. Contar el número de máximos detectados y anotar sus posiciones y valores.
4. Recorrer la lista de máximos y clasificarlos como rayos o réplicas ayudándose de sus posiciones y valores.
5. Corregir las amplitudes de los máximos clasificados como rayos en función de la Ecuación 3.

El procedimiento descrito anteriormente no tiene carácter limitativo y puede ser sustituido por cualquier otro que cumpla con el mismo objetivo de diferenciar los rayos de las réplicas y obtener su nivel correcto.

Una aplicación inmediata que se puede sacar de este procedimiento es la de averiguar el modo de transmisión, el ancho de banda de la señal y el intervalo de guarda de las señales digitales que utilizan esquemas de modulación OFDM y poseen intervalo de guarda para combatir el multitrayecto. Este es el caso de las señales de DVB-T/T2, 802.16 (WiMAX), DVB-C2, 802.11n (WIFI), LTE y un largo etcétera, puesto que este tipo de modulación cada vez está siendo más utilizada. En este tipo de modulaciones la señal se segmenta en símbolos de duración T_u , Al final de cada símbolo se le añade un intervalo de guarda de duración T_g y, en consecuencia, la duración final del símbolo es $T_s = T_u + T_g$. El intervalo de guarda no es más que una repetición de parte de la información del propio símbolo de duración T_u , que se añade al final de cada símbolo, tal y como se puede ver en la Figura 3. Así, T_g se suele definir como una fracción de T_u . En la Tabla 1, a modo de **ejemplo**, se detallan los intervalos de guarda utilizados en la norma DVB-T para un ancho de banda de la señal de 8 MHz y en función de los modos de transmisión. Estos parámetros son diferentes para los anchos de banda de 7 MHz y 6 MHz. Para averiguar estos parámetros característicos de los esquemas de modulación basados en OFDM se parte de la base de que se conocen de antemano los posibles valores de los parámetros T_u y T_g . Se aplica el procedimiento explicado con anterioridad para obtener la estimación de la respuesta del canal según se expresa en la Ecuación 3, supongamos que $T_u \in (T_u^1, T_u^2, T_u^3, \dots, T_u^k), \forall K$, donde K no tiene carácter limitativo. De este modo se calcula:

$$\gamma_1 = h_g(T_u^1)$$

.....

$$\gamma_K = h_g(T_u^K)$$

Para averiguar el modo de transmisión (número de portadoras de la señal OFDM) se comparan los valores $\gamma_1 \dots \gamma_K$ y se elige T_u como

$$\max t \{ \gamma_1 \dots \gamma_K \}, 1 \leq t \leq K$$

(Ecuación 4)

Para averiguar el intervalo de guarda, una vez que se conoce el valor de T_u , se compara

$\gamma_u = h_g(T_u)$ con los umbrales $U \in (U_1, \dots, U_N), \forall N$ donde N es el número de intervalos de guarda posibles. Esto umbrales están prefijados de antemano y se corresponde con el valor γ_u esperado para cada intervalo de guarda. Así, se decide el intervalo de guarda (IG) utilizado en la modulación como aquél que cumpla

$$IG = \min t \{ |\gamma_u - U_1|, \dots, |\gamma_u - U_N| \}, 1 \leq t \leq N$$

(Ecuación 5)

La gran ventaja del método propuesto aquí es que no se necesita demodular la señal para obtener los parámetros más relevantes del canal de interés y, por lo tanto, si la señal está muy estropeada debido al multitrayecto y/o ruido y los demoduladores convencionales no son capaces de demodularla, el método propuesto en esta patente sería capaz de obtener la información de interés sin mayores problemas.

Modo	8K				2K			
Intervalo de guarda	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
T_u	896 μ s				224 μ s			
T_g	224 μ s	112 μ s	56 μ s	28 μ s	56 μ s	28 μ s	14 μ s	7 μ s
$T_s = T_u + T_g$	1120 μ s	1008 μ s	952 μ s	924 μ s	280 μ s	252 μ s	238 μ s	231 μ s

Tabla 1. Parámetros de modulación de la señal de DVB-T 8 MHz

Descripción de las Figuras

Figura 1 **Ejemplo** de una banda de espectro utilizada para el cálculo de ecos de canal de acuerdo con la invención;

Figura 2 Diagrama de bloques del procedimiento de estimación de canal;

200 Filtro de entrada al conversor analógico/digital;

201 Conversor analógico/digital;

202 Proceso de cálculo de la respuesta en frecuencia de la señal de entrada.

203 Truncamiento del espectro a la zona de interés; .

- 204 Cálculo del módulo al cuadrado del espectro truncado;
- 205 Cálculo de la IFFT.
- 206 Proceso de identificación de rayos y réplicas y corrección del valor de la amplitud.
- 207 Presentación al usuario final de la respuesta del canal obtenida.

5

Figura 3 **Ejemplo** de generación del intervalo de guarda de un símbolo OFDM

Figura 4 Circuito de referencia.

41 Parte analógica del circuito;

42 Parte digital del circuito;

10

410 Antena.

411 Amplificación previa de la señal.

412 Filtro pasobanda

413 Conversión a Frecuencia Intermedia del canal de interés

414 Filtro pasobanda.

15

415 Ajuste de ganancia automático (CAG).

416 Conversor Analógico/Digital.

420 FPGA.

421 Microprocesador de propósito general.

422 Interfaz con el usuario.

20

Descripción de una realización preferida de la invención

A continuación, se describe una realización preferida de la invención sin ninguna limitación en cuanto a la aplicación o el método de implementación. El **ejemplo** descrito también sirve para explicar las características y las ventajas de la presente invención.

25

Actualmente, debido al gran avance de los sistemas digitales programables, cada vez es más sencilla la aplicación de complejos algoritmos de procesado de señal en dispositivos de alta velocidad para su implementación en tiempo real. Las FPGA (Field Programmable Gate Array) son los dispositivos programables más ampliamente utilizados para este tipo de tareas debido a su gran versatilidad en cuanto a las posibilidades de configuración que ofrecen.

30

En la Figura 4 tenemos un diagrama de bloques de la implementación de referencia.

35

La señal es captada por la antena 410 y se amplifica con el amplificador de bajo nivel de ruido 411. A continuación se filtra la banda de frecuencia de interés con el filtro pasobanda 412. El bloque 413 es el encargado de trasladar a la Frecuencia Intermedia de interés (FI) el canal que se desea analizar. El filtro pasobanda 414 está centrado en FI y filtra el canal de interés para eliminar los canales adyacentes. El Control

Automático de Ganancia (CAG) 415 ajusta el nivel de la señal en FI para que el convertor analógico/digital 416 convierta adecuadamente la señal al formato digital. El bloque 420 es la FPGA encargada de aplicar el algoritmo explicado en la presente patente a las muestras de entrada para identificar por un lado los parámetros de la modulación empleada (T_u, T_g, N, IG, BW) donde:

5

- T_u es la duración del símbolo sin intervalo de guarda;
- T_g es la duración del intervalo de guarda;
- N es el número de portadoras usadas en la modulación OFDM;
- IG es el intervalo de guarda;
- BW es el ancho de banda de la señal.

10

Además, el bloque 420 calculará $h_g(t)$ (Ecuación 3)

15

Una vez obtenidos los parámetros de modulación y $h_g(t)$, se transmiten los datos al procesador de propósito general 421 para que determine la posición y nivel de los rayos del canal aplicando el procedimiento explicado anteriormente, clasificando rayos y réplicas según corresponda. Finalmente se le presentará al usuario, a través de la interfaz 422, la gráfica de la estimación de canal y la información sobre la modulación del canal.

20

La gran ventaja de este método es que no se necesita demodular la señal para obtener toda la información relevante del canal ni tampoco la ayuda de ningún tipo de piloto.

La invención también se refiere a un sistema para estimar ecos, que tiene un procesador 421 asociado a un programa de software que realiza las operaciones aritméticas del método según la invención descritas anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Método de estimación de ecos de un canal de comunicaciones utilizando una señal digital caracterizado por que
- 5
- la señal utilizada se convierte sin demouldar a una frecuencia intermedia sin demodular y
 - el método comprende los siguientes pasos:
 - se calcula el espectro de la señal de interés
 - se calcula el módulo al cuadrado de la parte plana de la respuesta en frecuencia de la señal digital;
 - se realiza la transformada inversa de Fourier (IFFT) del módulo al cuadrado de la respuesta en frecuencia de la señal, y
 - se clasifican rayos y réplicas siguiendo un algoritmo iterativo.
- 10
2. Método según la reivindicación número 1 caracterizado por
- 15
- que en lugar de realizar la transformada inversa de Fourier (IFFT) se realiza la transformada de Fourier (FFT).
3. Método según las reivindicaciones anteriores caracterizado por
- 20
- que se realiza el cálculo del módulo del espectro de la señal en lugar del cálculo del módulo al cuadrado del espectro de la señal
4. Método según las reivindicaciones anteriores caracterizado por
- 25
- que se utiliza la estimación de los ecos del canal realizada para buscar máximos en las posiciones de todas las duraciones posibles de símbolo (OFDM) de acuerdo con la Modulación Ortogonal por División en Frecuencia.
5. Método según las reivindicaciones anteriores caracterizado por
- 30
- que la duración real del símbolo OFDM se obtiene como aquella posición en la que el máximo de la estimación de canal realizada sea mayor.
6. Método según las reivindicaciones anteriores caracterizado por
- 35
- que el intervalo de guarda (IG) para unir partes de mensajes se estima usando unos umbrales de decisión en función del nivel de los ecos estimados en la posición correspondiente a la duración del símbolo (OFDM).
7. Método según la reivindicación número 5 caracterizado por
- 40
- que la estimación del ancho de banda y número de portadoras se hace un función de la duración estimada del símbolo (OFDM).
8. Método según las reivindicaciones anteriores caracterizado por
- que la señal utilizada es una señal conforme a los estándares de DVB-T o DVB-T2.
9. Sistema para llevar a cabo el método según las reivindicaciones anteriores caracterizado por
- que dispone de un procesador (421) que realiza las operaciones aritméticas del método.

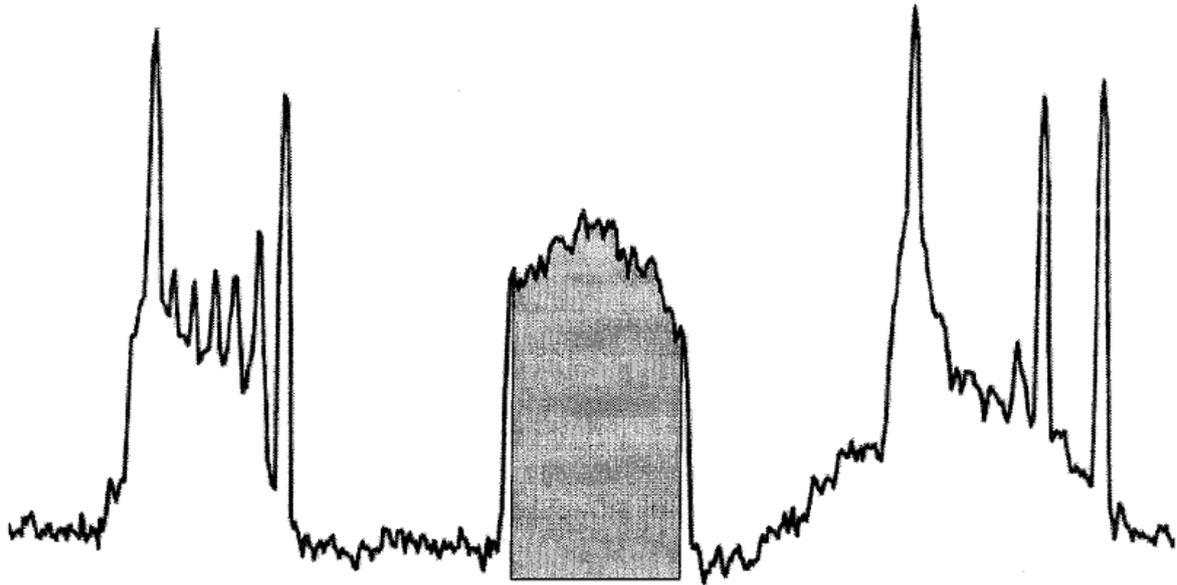


Figura 1

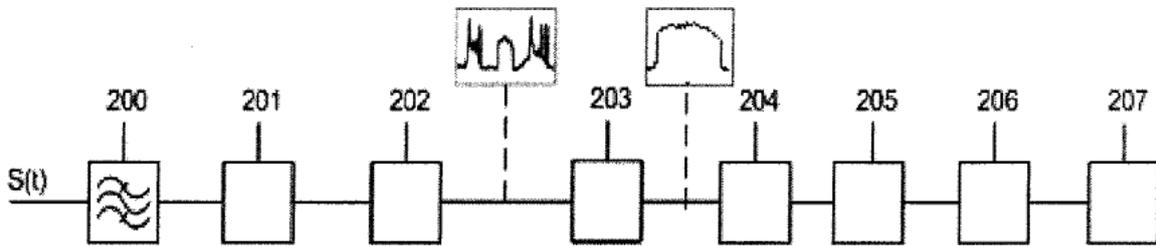


Figura 2

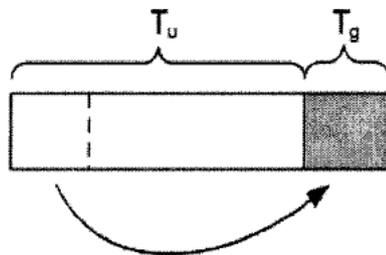


Figura 3.

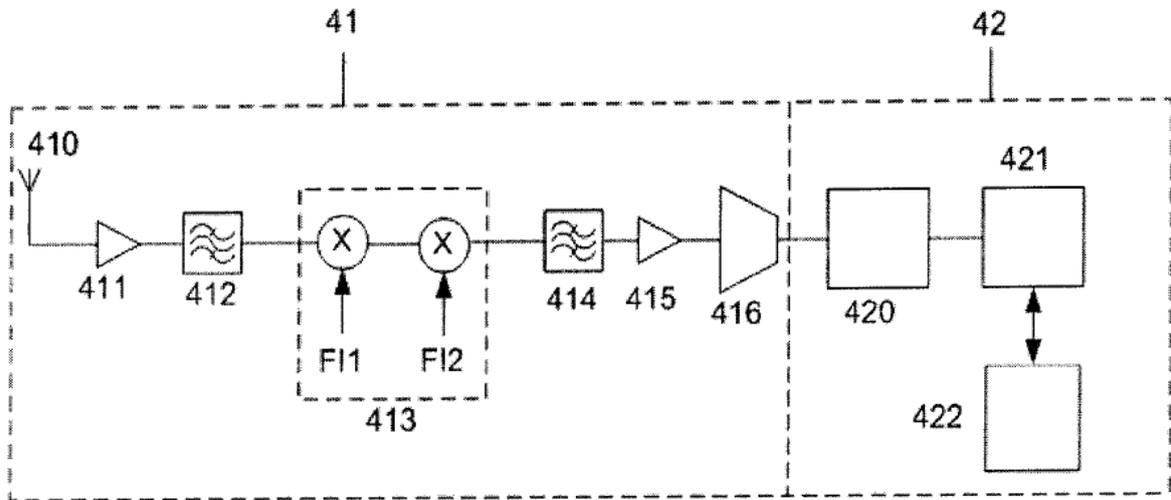


Figura 4