



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 339 970**

51 Int. Cl.:
H04L 27/26 (2006.01)
H04L 1/20 (2006.01)
H04L 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06751671 .6**
96 Fecha de presentación : **26.04.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1875699**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.01.2008**

54 Título: **Control de tiempos en sistemas de multiplexación por división de frecuencias ortogonales basado en la relación señal-ruido efectiva.**

30 Prioridad: **29.04.2005 US 119240**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.05.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.05.2010

73 Titular/es: **QUALCOMM INCORPORATED**
5775 Morehouse Drive
San Diego, California 92121, US

72 Inventor/es: **Jayaraman, Srikant;**
Xu, Hao;
Namgoong, June;
Mangan, Michael, John y
Black, Peter, J.

74 Agente: **Miazzetto, Fabrizio**

ES 2 339 970 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).

ES 2 339 970 T3

DESCRIPCIÓN

Control de tiempos en sistemas de multiplexación por división de frecuencias ortogonales basado en la relación señal-ruido efectiva.

5

Antecedentes

Campo

10 La presente descripción por lo general se refiere a unos sistemas de comunicación y concretamente al control de tiempos en sistemas de multiplexación por división de frecuencias ortogonales.

Antecedentes

15 En un sistema de espectro ensanchado, una estación móvil puede recibir transmisiones de una o más estaciones base. Cada estación móvil y estación base puede utilizar un código de propagación específico para identificar sus transmisiones de señales. En concreto en los sistemas OFDM, es muy importante detectar los tiempos de los símbolos. WO 2004/028055 A1 describe una solución para detectar los tiempos de los símbolos en un sistema OFDM. WO 2004/028 055 A1 describe un procedimiento y un dispositivo para detectar los tiempos de los símbolos midiendo un resultado de correlación de un símbolo de prueba de referencia; determinar una potencia efectiva de ruido media; comparar el resultado de la correlación y la potencia efectiva de ruido media; y en base a dicha comparación, ajustar la referencia de tiempo actual antes de decodificar el siguiente intervalo de tiempo OFDM.

20

Breve descripción de los dibujos

25

Diversas formas de realización de la descripción se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas, consideradas junto con los dibujos adjuntos. Estos dibujos representan sólo unas formas de realización de ejemplo y no deben considerarse limitativas del alcance de la descripción.

30

La Fig. 1 ilustra un sistema de comunicación que comprende unas estaciones base y unas estaciones móviles.

La Fig. 2 ilustra un ejemplo de unos tonos de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) múltiples en el dominio frecuencial, que pueden transmitirse en el sistema de la Fig. 1.

35

La Fig. 3 ilustra un ejemplo de una ruta de procesamiento OFDM.

La Fig. 4 ilustra un período de tiempo de símbolos OFDM total en el que los datos pueden transportarse en N tonos.

40

La Fig. 4B ilustra los símbolos OFDM en el dominio frecuencial.

La Fig. 4C ilustra un símbolo OFDM y su prefijo cíclico.

45

La Fig. 5 ilustra un dispositivo de adquisición/control de tiempos, que puede implementarse en el sistema de la Fig. 1.

La Fig. 6 ilustra un proceso de adquisición/control de tiempos, que puede llevarse a cabo mediante el dispositivo de la Fig. 5.

50

La Fig. 6B ilustra un dispositivo con unos medios que corresponden a los bloques de la Fig. 6A.

La Fig. 7 ilustra un patrón multiplexado por división de tiempo de intervalos multiplexados por división de código e intervalos OFDM.

55

La Fig. 8 ilustra unos ejemplos de una respuesta de canal real de señales OFDM transmitidas, un intervalo OFDM con una referencia de tiempo incorrecta, y un intervalo OFDM con una referencia de tiempo correcta.

Descripción detallada

60

Cualquier forma de realización descrita en la presente memoria no es necesariamente preferente o ventajosa sobre otras formas de realización. Aunque se presentan diversos aspectos de la presente descripción en los dibujos, los dibujos no están necesariamente dibujados a escala a menos que se indique específicamente.

65

La Fig. 1 ilustra un sistema de comunicación 100 que comprende unas estaciones base 102A, 102B y unas estaciones móviles 104A, 104B. El sistema 100 puede tener cualquier número de estaciones base y estaciones móviles. El sistema de comunicación 100 puede utilizar una o más técnicas de comunicación, como el acceso múltiple por división de código (CDMA), paquetes de datos de alta velocidad (HRPD), también denominados datos de alta velocidad (HRD), como se especifica en "cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification", TIA/EIA/IS-856,

ES 2 339 970 T3

CDMA 1x Optimizado para Datos de Evolución o “Evolution Data Optimized” (EV-DO), CDMA de banda ancha (WCDMA), Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS), CDMA Síncrono por División de Tiempo (TD-SCDMA), Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), etc.

5 La Fig.1 muestra también dos señales de trayecto múltiple 110A, 110B recibidas por la estación móvil 104A como resultado de un objeto 106 entre la estación base 102A y la estación móvil 104A. Un repetidor 108 o la distancia entre el repetidor 108 y la estación base 102A puede retardar la señal 110B transmitida desde la estación base 102A a la estación móvil 104A.

10 Una “estación móvil” descrita en la presente memoria puede referirse a diversos tipos de dispositivos, como un teléfono de cable, un teléfono inalámbrico, un teléfono móvil, un ordenador portátil, una tarjeta de comunicación inalámbrica para ordenadores personales (PC), un asistente digital personal (PDA), un módem interno o externo, etc. Una estación móvil puede ser cualquier dispositivo que se comunique a través de un canal inalámbrico o a través de un canal cableado, por ejemplo utilizando cables coaxiales o de fibra óptica. Una estación móvil puede tener diversos nombres, como terminal de acceso, unidad de acceso, unidad de abonado, dispositivo móvil, unidad móvil, teléfono móvil, móvil, estación remota, terminal remoto, unidad remota, dispositivo de usuario, equipo de usuario, dispositivo de bolsillo, etc. Las estaciones móviles pueden ser móviles o fijas y pueden estar dispersas por todo el sistema de comunicación 100 de la Fig. 1. Las estaciones móviles pueden comunicarse con uno o más sistemas transceptores de estación base (BTSs), que también se denominan estaciones base, redes de acceso, puntos de acceso, Nodo Bs, y transceptores de pools de módems (MPTs).

15 Una o más estaciones base 102 pueden transmitir señales, como contenido de difusión/multidifusión, a una pluralidad de estaciones móviles 104, es decir, múltiples estaciones móviles 104 reciben el mismo contenido de difusión. La transmisión de difusión puede utilizar una técnica de comunicación OFDM. La OFDM distribuye los datos en una gran número de subportadoras de frecuencia equidistantes (también denominadas “portadoras”, “tonos” de frecuencia o “bins” de frecuencia), como se muestra en la Fig. 2.

20 La Fig. 2 ilustra un ejemplo de tonos múltiples OFDM 200A-200E en el dominio frecuencial (eje horizontal), donde la amplitud se representa en el eje vertical. Cada tono 200 es “ortogonal” con cada uno de los demás tonos como resultado de separar los tonos a frecuencias precisas. El pico de cada tono 200 se corresponde con un nivel cero, o nulo, de cada uno de los demás tonos. De esta manera, no hay interferencias entre los tonos 200A-200E. Cuando un receptor muestrea a la frecuencia central de cada tono 200, la única energía presente es la de la señal deseada, más cualquier ruido que resulte estar en el canal. Un detector de un tono dado 200 no se ve afectado por la energía en los demás tonos 200. La OFDM permite que el espectro de cada tono 200 se superponga, y puesto que son ortogonales, no interfieren uno con otro.

25 Las formas de onda sinusoidales que constituyen los tonos 200 en la OFDM tienen una propiedad especial de ser las únicas funciones de un canal lineal. Esta propiedad especial evita que los tonos adyacentes en los sistemas OFDM interfieran uno con otro, de manera muy similar a la que el oído humano puede distinguir claramente entre cada uno de los tonos creados por las teclas adyacentes de un piano. Esta propiedad, y la incorporación de una pequeña cantidad de tiempo de seguridad para cada símbolo OFDM 400 (Fig. 4A) permite preservar la ortogonalidad entre los tonos 200 en presencia de la propagación de señales por trayectos múltiples.

30 Una parte de los datos del usuario se modula sobre cada tono 200 ajustando la amplitud del tono, fase o ambos. En una configuración, un tono 200 puede estar presente o deshabilitado para indicar un bit o cero bits de información. En otras configuraciones, puede utilizarse la modulación por desplazamiento de fase (PSK) o la modulación de amplitud en cuadratura (QAM) para modular los datos a cada tono.

35 La Fig. 3 ilustra un ejemplo de una ruta de procesamiento OFDM 300, que incluye una unidad de codificación de canal 302, una unidad de modulación 304, una unidad de mapeo de frecuencias 306, una unidad de procesamiento de la Transformada Rápida Inversa de Fourier (IFFT) 308, una unidad de inserción de prefijos cíclicos 310, una unidad de modulación de la portadora 312 y un circuito de transmisión 314, como una antena. La unidad de codificación de canal 302 toma un tren de datos, lo codifica con un Turbo Codificador o Código Convolutivo, intercala o permuta el tren y lo divide en N trenes de datos paralelos, cada uno a una velocidad $1/N$ de la velocidad original. La entrada a la unidad de codificación de canal 302 es un paquete (no mostrado en la Fig. 3), y la salida se transmite como uno o más símbolos OFDM 400 en la Fig. 4.

40 La unidad de modulación 304 y la unidad de mapeo de frecuencias 306 mapean cada tren de datos a un tono a una única frecuencia, y estos tonos se denominan “tonos de datos”. Al mismo tiempo, se transmiten los “símbolos piloto” conocidos en un conjunto diferente de tonos denominados “tonos piloto”. Estos tonos piloto pueden ser utilizados por el receptor para estimar la respuesta frecuencial del canal compuesto, y para llevar a cabo la demodulación de la señal OFDM recibida. La unidad de modulación 304 puede utilizar la QAM. Puede implementarse una modulación OFDM utilizando un software de procesamiento digital de señal (DSP). Una transmisión OFDM puede considerarse como Modulación Multi-Tono Discreta (DMT) con un código de propagación trivial, p. ej., el código de propagación comprende todos ellos.

45 Los tonos piloto y los tonos de datos se combinan conjuntamente utilizando una IFFT 308 para proporcionar una forma de onda del dominio temporal. La unidad de inserción de prefijos cíclicos 310 inserta un prefijo cíclico 402

(Fig. 4A). La salida de la unidad de inserción de prefijos cíclicos 310 se proporciona a la unidad de modulación de la portadora 312 y al circuito de transmisión 314, que sintetiza las señales de radiofrecuencia (RF).

La Fig. 4A ilustra un período de tiempo de símbolos OFDM total T_{sym} durante el cual los datos pueden transportarse en N tonos. Durante el período de tiempo de símbolos total T_{sym} , cada tono puede transportar un símbolo OFDM 400 y un prefijo cíclico 402. La Fig. 4B ilustra los símbolos OFDM múltiples en el dominio frecuencial. La Fig. 4C ilustra un símbolo OFDM 400 y su prefijo cíclico 402.

Para compensar el retardo por trayectos múltiples, el prefijo cíclico 402 se diseña para que sea mayor que un reparto del retardo (tiempo de retardo entre el trayecto múltiple del canal más largo y más corto). El prefijo cíclico 402 proporciona un tiempo de seguridad al símbolo OFDM 400 para asegurar la ortogonalidad entre las subportadoras en el dominio frecuencial, es decir, para evitar que las subportadoras interfieran una con otra. Si el reparto del retardo es demasiado grande, las subportadoras pueden superponerse en el dominio frecuencial, y puede perderse la ortogonalidad.

El prefijo cíclico 402 puede tener una longitud fija y puede adjuntarse al principio de cada símbolo OFDM 400 para convertir la convolución lineal del canal en una "convolución circular". Idealmente, la longitud del símbolo OFDM es grande con respecto a la longitud del prefijo cíclico para reducir la sobrecarga lo máximo posible. Se incurre en un compromiso fundamental ya que el prefijo cíclico 402 debe ser suficientemente largo para representar el reparto del retardo en trayectos múltiples anticipado experimentado por el sistema 100. En otras palabras, la longitud del prefijo cíclico debería ser "mayor" que la longitud de la respuesta impulsional efectiva visto desde un receptor.

Adquisición de los tiempos

El rendimiento de los sistemas OFDM puede depender de la adquisición precisa de los tiempos. Un error de adquisición de los tiempos grande puede resultar en una interferencia entre símbolos (ISI) de canales adyacentes, un canal incorrectamente estimado, y grandes degradaciones de rendimiento de un módem.

La descripción que sigue a continuación analiza un algoritmo de estimación de canal y muestra que una métrica efectiva de la relación señal-ruido (SNR), cuando se calcula correctamente, es una medida sólida del rendimiento del canal verdadero incluso en presencia de errores de adquisición de los tiempos. En base a este análisis, puede implementarse un bucle externo de adquisición de tiempos (o control de tiempos) para detectar y corregir los errores de adquisición de tiempos.

La descripción que a continuación sigue puede aplicarse generalmente a cualquier receptor que reciba señales OFDM de trayecto múltiple. Concretamente, la descripción que a continuación sigue puede aplicarse a una estación móvil 104A que recibe señales de trayecto múltiple 110A, 110B, 110C emitidas desde una o más estaciones base 102A, 102B.

Estimación de Canal en Presencia de un Error de los Tiempos

Una respuesta de canal compuesta (p. ej., en una estación móvil 104A que recibe L señales de trayecto múltiple 110A-110C transmitidas desde una o más estaciones base 102A, 102B) en el dominio temporal puede expresarse como:

$$h(nT) = \sum_{l=1}^L a_l p(nT - \tau_l)$$

donde L representa un número total de componentes de trayecto múltiple, a_l y τ_l representan la amplitud compleja y el retardo, respectivamente, del rayo del l^{avo} trayecto múltiple, $p(t)$ representa la respuesta del filtro del dominio temporal compuesto de los filtros de los pulsos de transmisión y recepción, y T representa la duración del chip. Para simplificar la presentación, se supone un canal estático. Con unos tiempos correctos, la respuesta frecuencial del canal en los tonos piloto puede expresarse como:

$$H_k \equiv H\left(\frac{k}{PT}\right) = \sum_n h(nT) \exp\left\{-i \frac{2\pi nk}{P}\right\}$$

donde $H(f)$ es la Transformada Discreta de Fourier de $h(nT)$, y k representa el índice del tono piloto k^{avo} a una frecuencia k/PT donde P es el número de tonos piloto.

Supóngase que debido a un error de tiempos, el tiempo de inicio se asigna incorrectamente a una muestra con unos chips Δ de retardo después de la primera ruta de llegada. Entonces puede mostrarse que la respuesta del canal estimado en los tonos piloto puede expresarse como:

$$\hat{H}_k = \exp\left\{i\frac{2\pi k\Delta}{P}\right\} \sum_n h(nT) \exp\left\{-i\frac{2\pi nk}{P}\right\} = \exp\left\{i\frac{2\pi k\Delta}{P}\right\} H_k \quad (1)$$

La ecuación (1) anterior lleva a dos observaciones importantes. Primero, en los tonos piloto, a pesar del error en la referencia de los tiempos, la respuesta en amplitud del canal estimado \hat{H}_k iguala la respuesta en amplitud del canal verdadero H_k . Segundo, en los tonos piloto, el error en la referencia de tiempos lleva a un desfase lineal a través de los tonos piloto. Debido a la estimación de canal basada en la FFT en los sistemas OFDM, la respuesta del dominio temporal del canal estimado, derivada a partir de estos tonos piloto desfasados, es un desplazamiento cíclico de la respuesta de dominio temporal del canal verdadero.

Lamentablemente, debido a que la respuesta frecuencial en los tonos de datos se deriva interpolando la respuesta frecuencial en los tonos piloto, la fase y amplitud interpolada en los tonos de datos puede resultar considerablemente diferente de los valores del canal verdadero cuando los tiempos son incorrectos. En presencia de un error de tiempos de Δ chips, la respuesta frecuencial en los tonos de datos (mínimos cuadrados interpolados a partir de los tonos pilotos utilizando FFTs) puede aproximarse mediante:

$$\begin{aligned} \tilde{H}_k &\approx \exp\left\{i\frac{2\pi k\Delta}{N}\right\} \left\{ \sum_{n=0}^{\Delta-1} h_n \exp\left\{-i\frac{2\pi(P+n)k}{N}\right\} + \sum_{n=\Delta}^{P-1} h_n \exp\left\{-i\frac{2\pi nk}{N}\right\} \right\} \\ &\neq \exp\left\{i\frac{2\pi k\Delta}{N}\right\} \sum_{n=0}^{P-1} h_n \exp\left\{-i\frac{2\pi nk}{N}\right\} = \exp\left\{i\frac{2\pi k\Delta}{N}\right\} H_k \end{aligned}$$

donde N es el número de tonos en un símbolo OFDM (tonos de datos y piloto), y k indica el índice de tonos de datos. En esta ecuación, la primera suma incluye un subconjunto de componentes de trayecto múltiple que sucede antes de la referencia de tiempos Δ , y la segunda suma incluye todas las rutas que llegan después de Δ . Está claro que la respuesta de canal estimado en los tonos de datos puede ser considerablemente diferente de la respuesta del canal verdadero, y esto puede llevar a errores importantes durante la demodulación de los datos.

SNR Efectiva en Presencia de Errores de Tiempos

El rendimiento de la OFDM puede predecirse con precisión utilizando una métrica denominada SNR Efectiva cuando no existen errores de tiempos. Para un paquete codificado con un determinado código de tasa (p. ej., un código de tasa 3/4) y modulado utilizando una determinada constelación de transmisión (p. ej., 16-QAM), si la métrica de SNR Efectiva es menor que un determinado umbral (p. ej., 11,4 dB), es muy improbable que el paquete sea decodificable. A la inversa, si la métrica de SNR Efectiva excede dicho umbral, es muy probable que el paquete se decodifique correctamente. Para un sistema OFDM típico, siempre que el número de tonos piloto exceda la ruta de retardo mayor en el canal, el teorema de muestreo de Shannon/Nyquist garantiza que la métrica de SNR efectiva puede calcularse a partir de la respuesta frecuencial del canal en los tonos piloto solos.

La métrica de SNR Efectiva se calcula a partir de las respuestas del canal H_k en los tonos piloto como sigue. Primero, puede estimarse la varianza del ruido en los tonos piloto utilizando un procedimiento de estimación similar a la solicitud de patente co-asignada U.S. n° 11/047,347, depositada el 28 de enero de 2.005, titulada "Noise Variante Estimation in Wireless Communications for Diversity Combining and Log-Likelihood Scaling". Considérese que σ^2 indica la varianza estimada del ruido. Entonces, la métrica de SNR Efectiva puede calcularse a través de la fórmula

$$SNR = C^{-1} \left(\frac{1}{P} \sum_{k=1}^P C \left(\frac{|H_k|^2}{\sigma^2} \right) \right)$$

donde $C(x)$ es la capacidad de un Canal Gaussiano con SNR x y entrada limitada al tipo seleccionado de modulación como, p. ej., 64QAM ó 16QAM. Por ejemplo, si la constelación transmitida se limita a un conjunto de puntos $\{c_i; i = 1, \dots, J\}$ en el plano complejo, donde los puntos se normalizan de acuerdo con:

$$x \equiv \frac{1}{2} \sum_j \frac{|c_j|^2}{J},$$

entonces, la función de capacidad limitada $C(x)$ viene dada por:

$$C(x) \equiv \log J - \sum_j \frac{1}{J} \int \int \frac{1}{2\pi} e^{-|u^2+v^2|/2} \log \sum_i e^{-|c_j-c_i|^2/2} e^{-\text{Re}[(u-iv)(c_j-c_i)]} du dv.$$

Este conjunto de ecuaciones se encuentra en R.E. Blahut, "Principles and Practice of Information Theory", Addison Wesley, 1991, sección 7.8, pp. 272-279.

Debido a que la métrica de SNR efectiva calculada a partir de los tonos piloto depende sólo de la amplitud de la respuesta frecuencial del canal, y debido a que la amplitud del canal en los tonos piloto es independiente del error de los tiempos (relativo a: ecuación (1) anteriormente indicada), la métrica de SNR efectiva también es independiente del error de los tiempos. Sin embargo, en presencia de un error de los tiempos, la varianza del ruido puede incluir una interferencia entre símbolos y una interferencia entre tonos y por lo tanto, la varianza del ruido con error de tiempos no será menor que la varianza del ruido sin error de tiempos. Se deduce pues que la métrica de SNR efectiva calculada con error de tiempos será por lo general ligeramente menor que la métrica de SNR efectiva sin error de tiempos. Por tanto, la métrica de SNR efectiva proporciona una predicción conservadora de si los paquetes deberían ser decodificables o no.

Debido a que la SNR efectiva, basada en los tonos piloto, sigue siendo un buen indicador de una tasa de error de paquetes (PER) admisible o alcanzable incluso si existe un error de tiempos, la SNR efectiva puede utilizarse con la PER medida en un bucle externo para la adquisición/control de los tiempos como se describe a continuación.

Bucle Externo de Control de Tiempos Basado en la SNR Efectiva

La Fig. 5 ilustra un dispositivo de adquisición/control de tiempos 520, que puede implementarse en una estación móvil 104 o una estación base 102 de la Fig. 1. El dispositivo 520 puede implementarse en software, hardware o una combinación de software y hardware. El dispositivo 520 comprende un receptor 506, un buscador de señales 504, un decodificador y demodulador OFDM 500, y un bucle externo de control de tiempos 502, que también puede denominarse módulo de control de tiempos. El decodificador y demodulador OFDM 500 puede estar separado de o integrarse con un decodificador y demodulador CDM. El dispositivo 520 puede incluir otros componentes software y hardware, como un desintercalador, estimadores de canal, etc. además de o en lugar de los componentes mostrados en la Fig. 5.

La Fig. 6A ilustra un proceso de adquisición/control de tiempos, que puede llevarse a cabo mediante el dispositivo 520 de la Fig. 5. La Fig. 6B ilustra un dispositivo con unos medios 611-614 que corresponden a los bloques 601-604 en la Fig. 6A.

La Fig. 7 ilustra un patrón multiplexado por división de tiempo de los intervalos multiplexados por división de código 702 transmitidos (p. ej., datos de unidifusión) y unos intervalos OFDVI 700 (p. ej., datos de difusión). La Fig. 7 también muestra un ejemplo de una estructura de intervalos, de OFDM específica.

El receptor 506 de la Fig. 5 recibe las señales transmitidas en intervalos de tiempo CDM y OFDM 702, 700A, 700B (Fig. 7), por ejemplo, desde una o más estaciones base. El buscador de señales 504, como un buscador de señales COMA, determina un valor de tiempos aproximados. El decodificador y demodulador OFDM 500 decodifica y demodula símbolos OFDM 400, que incluyen tonos de datos y tonos piloto, a partir de los intervalos de tiempo OFDM 700A, 700B.

En el bloque 601 en la Fig. 6, el demodulador y decodificador OFDM 500 (Fig. 5) utiliza el valor aproximado de los tiempos para medir una PER (PER medida) de los paquetes OFDM decodificados recibidos y para calcular una métrica de SNR efectiva a partir de los tonos piloto de los símbolos OFDM. Un demodulador procesa uno o más símbolos OFDM y se los proporciona al decodificador, que trata a continuación de reproducir el paquete que fue introducido a la unidad de codificación del canal 302 en la Fig. 3. El demodulador y decodificador 500 (o de manera alternativa, el bucle externo 502) puede utilizar la métrica de SNR efectiva para predecir una PER admisible

ES 2 339 970 T3

(PER' pronosticada). Por ejemplo, la métrica de SNR efectiva se compara con un umbral de SNR dependiendo de la velocidad de datos del paquete; si la métrica de SNR efectiva excede el umbral, se predice que el paquete está libre de errores, de lo contrario se predice que el paquete es erróneo. La PER pronosticada puede ser una media temporal adecuada de estas predicciones. El demodulador y decodificador 500 incluye un bucle interno de control de tiempos 501, que proporciona una referencia de tiempos actual al bucle externo de adquisición/control de tiempos 502. El bucle interno de control de tiempos 501 refina el valor aproximado de los tiempos del buscador de señal 504, o actualiza el valor anterior de los tiempos utilizando los símbolos OFDM recibidos.

En el bloque 602, el bucle externo de control de tiempos 502 recibe la actual referencia de tiempos, métrica de SNR efectiva, PER medida y PER pronosticada como entradas y declara un error de tiempos si se cumplen las tres condiciones que se indican a continuación para un número de N_S de intervalos de tiempo OFDM 700 consecutivos. Tal como se muestra en la Fig. 7, los intervalos de tiempo OFDM 700 "consecutivos" pueden estar separados en el tiempo por intervalos CDM 702 de unidifusión. N_S puede ser igual a 64, 100, 256 o algún otro valor.

Los parámetros (también denominados valores, variables, umbrales, etc.) N_S , N_C , P_1 , P_2 , P_3 , T_1 , T_2 , T_3 descritos en la presente memoria pueden seleccionarse, programarse y/o optimizarse según los diversos parámetros del sistema, como la velocidad de actualización del bucle interno de tiempos, la precisión de las medidas de SNR de tonos piloto, y la configuración de la red. Estos parámetros pueden establecerse o determinarse por el fabricante del dispositivo o por el operador inalámbrico, etc., y pueden programarse valores por defecto cuando se fabrica el dispositivo o durante la operación sobre la marcha y sobre el terreno.

- i. la PER medida es cercana al 100% (o $PER > P_1$, donde P_1 puede ser el 30%, por ejemplo);
- ii. la PER pronosticada basada en la métrica de SNR efectiva es cercana al 0% (o $PER' < P_2$, donde P_2 puede ser el 2%, por ejemplo); y
- iii. la actual referencia de tiempos permanece igual (o la actual referencia de tiempos no cambia más de T_1 chips desde la anterior referencia, donde T_1 puede ser igual a 10, por ejemplo).

Si no se han cumplido estas tres condiciones todavía, entonces el bucle externo 502 puede continuar verificando estas tres condiciones.

De esta manera, si un número de intervalos OFDM consecutivos no se decodifica correctamente (es decir, una PER medida elevada), entonces o bien (a) el canal no es "bueno" o bien (b) la actual referencia de tiempos es incorrecta. Si el canal es "bueno" (es decir, si la métrica de SNR efectiva es elevada y la PER pronosticada es baja), entonces la referencia de tiempos es probablemente incorrecta y debería ajustarse.

En el bloque 603, si se declara un error de tiempos, el bucle externo 502 envía una señal "de avance" o desplazamiento al bucle interno de control de tiempos 501, de manera que los tiempos de referencia (también denominados referencia actual de tiempos) son avanzados N_C chips para el siguiente intervalo OFDM, como se muestra en la Fig. 8. N_C puede ser igual a 5 a 8 chips, por ejemplo. Una vez que se ha declarado el error de tiempos, la estimación de tiempos del bucle interno de control de tiempos 501 no afectará a los tiempos de referencia. La última referencia de tiempos antes de declarar el error de tiempos continúa actualizándose solamente por el bucle externo de control de tiempos 502.

La Fig. 8 ilustra ejemplos de una respuesta del canal real de las señales OFDM transmitidas 800, un intervalo OFDM con una referencia de tiempos incorrecta 802, y un intervalo OFDM con una referencia de tiempos correcta 804.

En el bloque 604, el proceso puede repetir el bloque 603 hasta cumplir cualquiera de las siguientes condiciones:

- i. la PER medida es cercana a la PER' pronosticada (o $|PER - PER'|/PER' < P_3$), donde P_3 puede ser igual a 5.
- ii. el número total de chips avanzados excede un umbral T_2 de chips, determinado *a priori* en base al máximo retardo posible en el canal, donde T_2 puede ser igual a 80, por ejemplo; o
- iii. la estimación de tiempos relativos del primer trayecto de llegada detectado, del algoritmo de tiempos del bucle interno cambia más de T_3 chips, donde T_3 puede ser igual a 30, por ejemplo.

Si se satisface la condición iii, la referencia de tiempos para los siguientes intervalos OFDM será reseteada a la estimación de tiempos del bucle interno de control de tiempos 501.

La descripción anteriormente indicada proporciona un análisis de un canal estimado y la SNR efectiva de los símbolos OFDM recibidos en presencia de errores de tiempos. El análisis explica por qué la SNR efectiva puede servir como herramienta de diagnóstico para determinar si hay un error de tiempos cuando la PER medida permanece elevada

pero la PER pronosticada en base a la métrica de SNR efectiva permanece baja. El bucle externo 502 puede controlar los tiempos en base a la métrica de SNR efectiva.

5 Contenido de la Emisión

Las transmisiones de difusión desde múltiples estaciones base 102 pueden estar sincronizadas en el tiempo entre sí, de manera que las estaciones base 102 transmitan el mismo contenido de difusión utilizando la misma forma de onda o modulación, por ejemplo, el mismo código de propagación al mismo tiempo. De esta manera, las múltiples transmisiones de difusión pueden tratarse como transmisiones de trayectos múltiples en el receptor. En otras palabras, las transmisiones de difusiones sincronas crean trayectos múltiples artificiales, proporcionando una calidad de recepción mejorada en el receptor con un procesamiento de señal apropiado. Una ventaja de crear señales que se comportan como señales de trayectos múltiples es la capacidad de un receptor de maximizar una ganancia de macro-diversidad en la que una pérdida de señal de una estación base está desfasada por una señal idéntica perfectamente recibida desde otra estación base con un retardo de propagación diferencial. La difusión sincrona puede proporcionar un mismo código de propagación para múltiples transmisores.

El sincronismo en el tiempo entre las estaciones base puede ser beneficiosa cuando la transmisión de la difusión sincrona emplea la OFDM para una parte de difusión 700 de una transmisión (Fig. 7). Si las transmisiones de la estación base no están sincronizadas en el tiempo, las diferencias en los tiempos pueden de manera efectiva convertirse en retardos de trayectos múltiples, lo que puede aumentar el reparto del retardo. Por lo tanto, las transmisiones sincronas en el tiempo de múltiples estaciones base 102 sirven para alinear las transmisiones OFDM y evitar introducir un reparto adicional del retardo.

Como se muestra en la Fig. 7, las estaciones base pueden emitir datos en intervalos de tiempo de difusión intercalados 700, que pueden estar intercalados entre los intervalos de tiempo 702 utilizados para las transmisiones de datos específicos de los usuarios (unidifusión). Una forma de realización utiliza una forma de onda OFDM para la difusión sincrona. Cada intervalo de difusión puede tener tres o cuatro símbolos OFDM, donde un símbolo puede tener más tonos piloto que los otros dos símbolos OFDM. Cada estación móvil puede utilizar los tonos piloto de uno o más símbolos OFDM para estimar una respuesta del canal y derivar una referencia de tiempos para demodular los símbolos OFDM.

La información y las señales descritas en la presente memoria pueden representarse utilizando una variedad de diferentes tecnologías y técnicas. Por ejemplo, datos, instrucciones, comandos, información, señales, bits, símbolos, y chips que pueden referenciarse en la descripción anteriormente indicada pueden representarse mediante voltajes, corrientes, ondas electromagnéticas, partículas o campos electromagnéticos, partículas o campos ópticos, o cualquier combinación de los mismos.

Los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de algoritmos ilustrativas descritas en conexión con las formas de realización descritas en la presente memoria pueden implementarse como hardware electrónico, software informático, o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, se han descrito anteriormente diversos componentes, bloques, módulos circuitos y etapas ilustrativas generalmente en términos de su funcionalidad. Que tal funcionalidad sea implementada como hardware o software depende de la aplicación particular y de las limitaciones de diseño impuestas en el sistema completo. Los expertos en la materia pueden implementar la funcionalidad descrita de diferentes maneras para cada aplicación particular, pero tales decisiones de implementación no deberían interpretarse como causantes de un alejamiento del alcance de la presente descripción.

Los diversos bloques lógicos, módulos y circuitos ilustrativos descritos en conexión con las formas de realización descritas en la presente memoria pueden implementarse o llevarse a cabo con un procesador de propósito general, un procesador digital de señal (DSP), un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC), una matriz de puertas programables (FPGA) u otro dispositivo lógico programable, lógica de transistores o puertas discretas, componentes hardware discretos, o cualquier combinación de los mismos diseñada para llevar a cabo las funciones descritas en la presente memoria. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador, pero alternativamente, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados convencional. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores conjuntamente con un núcleo DSP, o cualquier otra configuración de ese tipo.

Las etapas de un procedimiento o algoritmo descrito en conexión con las formas de realización descritas en la presente memoria pueden realizarse directamente en hardware, en un módulo software ejecutado por un procesador, o en una combinación de los dos. Un módulo software puede residir en una memoria RAM, una memoria flash, una memoria, ROM, una memoria EPROM, una memoria EEPROM, registros, disco duro, un disco externo, un CD-ROM, o cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocida en la técnica. Un medio de almacenamiento se acopla al procesador de manera que el procesador pueda leer la información desde el medio de almacenamiento y escribir en el mismo. Alternativamente, el medio de almacenamiento puede estar integrado en el procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. Alternativamente, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un terminal de usuario.

ES 2 339 970 T3

En la presente memoria se incluyen encabezamientos a modo de referencia y para ayudar a ubicar determinadas secciones. Estos encabezamientos no están destinados a limitar el alcance de los conceptos allí descritos, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a lo largo de toda la especificación.

5 La anterior descripción de las formas de realización descritas se proporciona para permitir a cualquier experto en la materia hacer uso de la presente descripción. Diversas modificaciones a estas formas de realización se pondrán claramente de manifiesto para los expertos en la materia, y los principios genéricos descritos en la presente memoria pueden aplicarse a otras formas de realización sin alejarse del alcance de la descripción. De esta manera, la presente descripción no pretende limitarse a las formas de realización mostradas en la presente memoria sino que concuerda con el alcance más amplio consistente con las siguientes reivindicaciones.
10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 339 970 T3

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento que comprende:

5 utilizar una referencia de tiempos actual para decodificar una pluralidad de símbolos (400) multiplexados por división de frecuencias ortogonales OFDM, en una pluralidad de intervalos de tiempo (700);

medir una tasa de error de paquetes de los símbolos OFDM (400) decodificados;

10 determinar una métrica de la relación señal-ruido, SNR, efectiva a partir de una respuesta de canal en amplitud de tonos piloto de los símbolos OFDM (400) decodificados;

en base a la métrica de SNR efectiva, predecir una tasa de error de paquetes admisible;

15 comparar la tasa de error de paquetes medida y la tasa de error de paquetes pronosticada; y

en base a dicha comparación, ajustar la actual referencia de tiempos antes de decodificar el siguiente intervalo de tiempo OFDM (700).

2. Procedimiento según la Reivindicación 1, en el que la comparación de la tasa de error de paquetes medida y la tasa de error de paquetes pronosticada comprende:

25 determinar si la tasa de error de paquetes medido es mayor que un primer valor umbral; y

determinar si la tasa de error de paquetes pronosticada es menor que un segundo valor umbral.

3. Procedimiento según la Reivindicación 2, en el que en base a dicha comparación, ajustar la actual referencia de tiempos comprende si la tasa de error de paquetes medida es mayor que el primer valor umbral, y la tasa de error de paquetes pronosticada es menor que el segundo valor umbral, ajustando a continuación la actual referencia de tiempos antes de decodificar el siguiente intervalo de tiempo OFDM.

4. Procedimiento según la Reivindicación 1, en el que determinar una métrica de relación señal-ruido efectiva SNR, comprende utilizar:

$$SNR = C^{-1} \left(\frac{1}{P} \sum_{k=1}^P C \left(\frac{|H_k|^2}{\sigma^2} \right) \right)$$

/6

45 donde C(x) es una capacidad de un Canal Gaussiano con SNR x y entrada limitada a un tipo de modulación seleccionado,

50 donde σ^2 representa una varianza estimada del ruido, donde P es el número de tonos piloto, y donde $|H_k|$ representa una respuesta en amplitud de un canal.

5. Procedimiento según la Reivindicación 4, que comprende adicionalmente la utilización de una tabla de consulta para implementar la función C(x), y la estimación de la varianza del ruido.

6. Procedimiento según la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

60 determinar si la actual referencia de tiempos no cambia durante un número de intervalos de tiempo OFDM consecutivos; y

en base a dicha determinación, hacer avanzar la actual referencia de tiempos un número configurado de chips para el siguiente intervalo de tiempo OFDM a decodificar.

ES 2 339 970 T3

7. Procedimiento según la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

determinar si la actual referencia de tiempos no cambia durante un número configurado de chips desde una referencia de tiempos anterior; y

en base a dicha determinación, hacer avanzar la actual referencia de tiempos un número configurado de chips para el siguiente intervalo de tiempo OFDM a decodificar.

8. Procedimiento según la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

recibir inalámbricamente transmisiones de trayectos múltiples que contienen símbolos OFDM en los intervalos de tiempo; y

buscar las transmisiones de trayectos múltiples para determinar la actual referencia de tiempos.

9. Procedimiento según la Reivindicación 1, en el que ajustar la actual referencia de tiempos comprende hacer avanzar la actual referencia de tiempos un número configurado de chips.

10. Procedimiento según la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente repetir dicho ajuste de la actual referencia de tiempos hasta que la tasa de error de paquetes medida sea cercana a la tasa de error de paquetes pronosticada.

11. Procedimiento según la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente repetir dicho ajuste de la actual referencia de tiempos hasta que el ajuste de la actual referencia de tiempos exceda un número umbral de chips determinado *a priori* en base a un máximo retardo posible en un canal.

12. Procedimiento según la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente repetir dicho ajuste de la actual referencia de tiempos hasta que unos tiempos relativos de un primer trayecto de llegada cambian más que un número umbral de chips.

13. Procedimiento según la Reivindicación 1, en el que los símbolos OFDM comprenden un contenido de difusión destinado a una pluralidad de estaciones móviles (104).

14. Procedimiento según la Reivindicación 1, en el que los intervalos de tiempo que contienen los símbolos OFDM están multiplexados por división de tiempo con intervalos de tiempo que comprenden datos específicos de los usuarios.

15. Dispositivo configurado para recibir señales desde una estación base (102), comprendiendo el dispositivo:

medios para utilizar una referencia de tiempos actual para decodificar una pluralidad de símbolos OFDM (400), multiplexados por división de frecuencias ortogonales en una pluralidad de intervalos de tiempo (700);

medios para medir una tasa de error de paquetes de los símbolos OFDM (400) decodificados;

Unos medios para determinar una métrica de SNR, relación señal-ruido efectiva a partir de una respuesta de canal en amplitud en tonos piloto del símbolo OFDM (400) decodificado;

medios para predecir una tasa de error de paquetes admisible en base a la métrica de SNR efectiva determinada;

medios para comparar la tasa de error de paquetes medida y la tasa de error de paquetes pronosticada; y

medios para ajustar la actual referencia de tiempos antes de decodificar el siguiente intervalo de tiempo OFDM en base a dichos medios o comparación.

16. Dispositivo según la reivindicación 15, en el que los medios de comparación comprenden: medios para determinar si la tasa de error de paquetes medida es mayor que un primer valor umbral;

medios para determinar si la tasa de error de paquetes pronosticada es menor que un segundo valor umbral; y

si la tasa de error de paquetes medida es mayor que el primer valor umbral, y la tasa de error de paquetes pronosticada es menor que el segundo valor umbral, medios para ajustar la actual referencia de tiempos antes de decodificar el siguiente intervalo de tiempos OFDM.

ES 2 339 970 T3

17. Dispositivo según la reivindicación 16, en el que un módulo de control de tiempos forma:

los medios para determinar si una tasa de error de paquetes medida es mayor que un primer valor umbral;

5 los medios para determinar si una tasa de error de paquetes pronosticada es menor que un segundo valor umbral;

10 los medios para ajustar la actual referencia de tiempos antes de decodificar el siguiente intervalo de tiempos OFDM (700);

18. Dispositivo según cualquiera de las Reivindicaciones 15 a 17, que comprende adicionalmente:

15 un receptor (506) configurado para recibir inalámbricamente transmisiones de trayectos múltiples que contienen símbolos OFDM (400) en una pluralidad de intervalos de tiempo (700); y

20 un buscador (504) para buscar las transmisiones de trayectos múltiples para determinar la actual referencia de tiempos.

19. Dispositivo según la reivindicación 18, en el que los intervalos de tiempo (700) que contienen símbolos OFDM (400) están multiplexados por división de tiempo con intervalos de tiempo (700) que comprenden datos específicos de usuarios.

25 20. Dispositivo según cualquiera de las Reivindicaciones 15 a 17, en el que un decodificador forma:

los medios para utilizar una actual referencia de tiempos para decodificar una pluralidad de símbolos OFDM en una pluralidad de intervalos de tiempo;

30 los medios para medir una tasa de error de paquetes de los símbolos OFDM decodificados;

los medios para determinar una métrica de SNR efectiva a partir de una respuesta de canal en amplitud en tonos piloto de los símbolos OFDM (400) decodificados; y

35 los medios para predecir una tasa de error de paquetes admisible.

40 21. Dispositivo según la Reivindicación 17, en el que el módulo de control de tiempos se configura adicionalmente para:

determinar si la actual referencia de tiempos no cambia durante un número de intervalos de tiempo OFDM consecutivos (700); y

45 en base a dicha determinación, hacer avanzar la actual referencia de tiempos un número configurado de chips para el siguiente intervalo de tiempo OFDM (700) a decodificar.

50 22. Dispositivo según la reivindicación 17, en el que el módulo de control de tiempos se configura adicionalmente para:

determinar si la actual referencia de tiempos no cambia durante un número configurado de chips desde una referencia de tiempos anterior; y

55 en base a dicha determinación, hacer avanzar la actual referencia de tiempos un número configurado de chips para el siguiente intervalo de tiempo OFDM (700) a decodificar.

23. Dispositivo según las Reivindicaciones 15 ó 17, en el que ajustar la actual referencia de tiempos comprende hacer avanzar la actual referencia de tiempos un número configurado de chips.

60 24. Dispositivo según la Reivindicación 17, en el que el módulo de control de tiempos es configurado para repetir dicho ajuste de la actual referencia de tiempos hasta que la tasa de error de paquetes medida sea cercana a la tasa de error de paquetes pronosticada.

65 25. Dispositivo según la Reivindicación 17, en el que el modulo de control de tiempos es configurado para repetir dicho ajuste de la actual referencia de tiempos hasta que el ajuste de la actual referencia de tiempos exceda un número umbral de chips determinado *a priori* en base a un máximo posible retardo en un canal.

ES 2 339 970 T3

26. Dispositivo según la Reivindicación 17, en el que el modulo de control de tiempos es configurado para repetir dicho ajuste de la actual referencia de tiempos hasta que unos tiempos relativos de un primer trayecto de llegada cambien más que un número umbral de chips.

5 27. Dispositivo según la Reivindicación 17, en el que los símbolos OFDM (400) comprenden un contenido de difusión destinado a una pluralidad de estaciones móviles (104).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

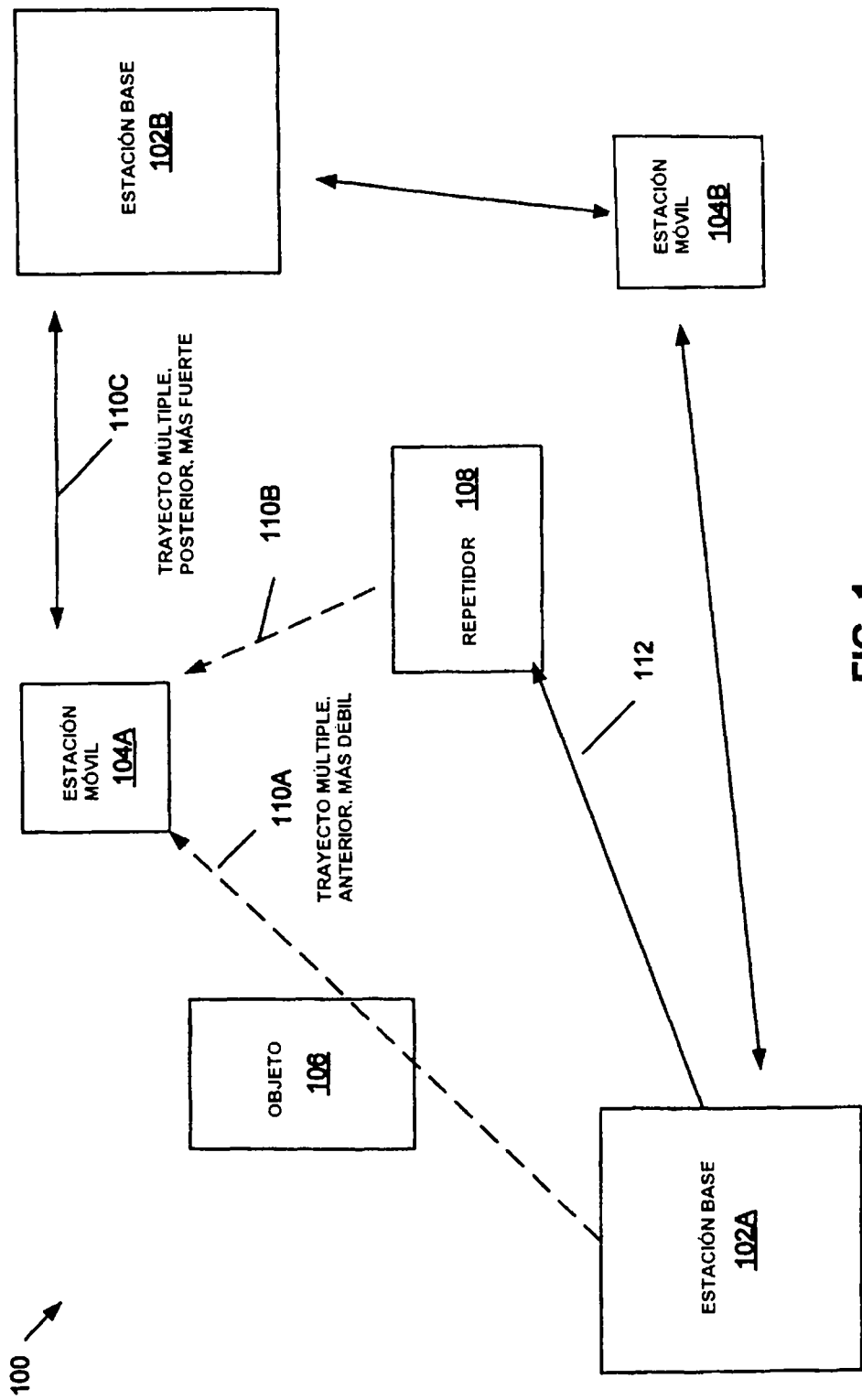


FIG. 1

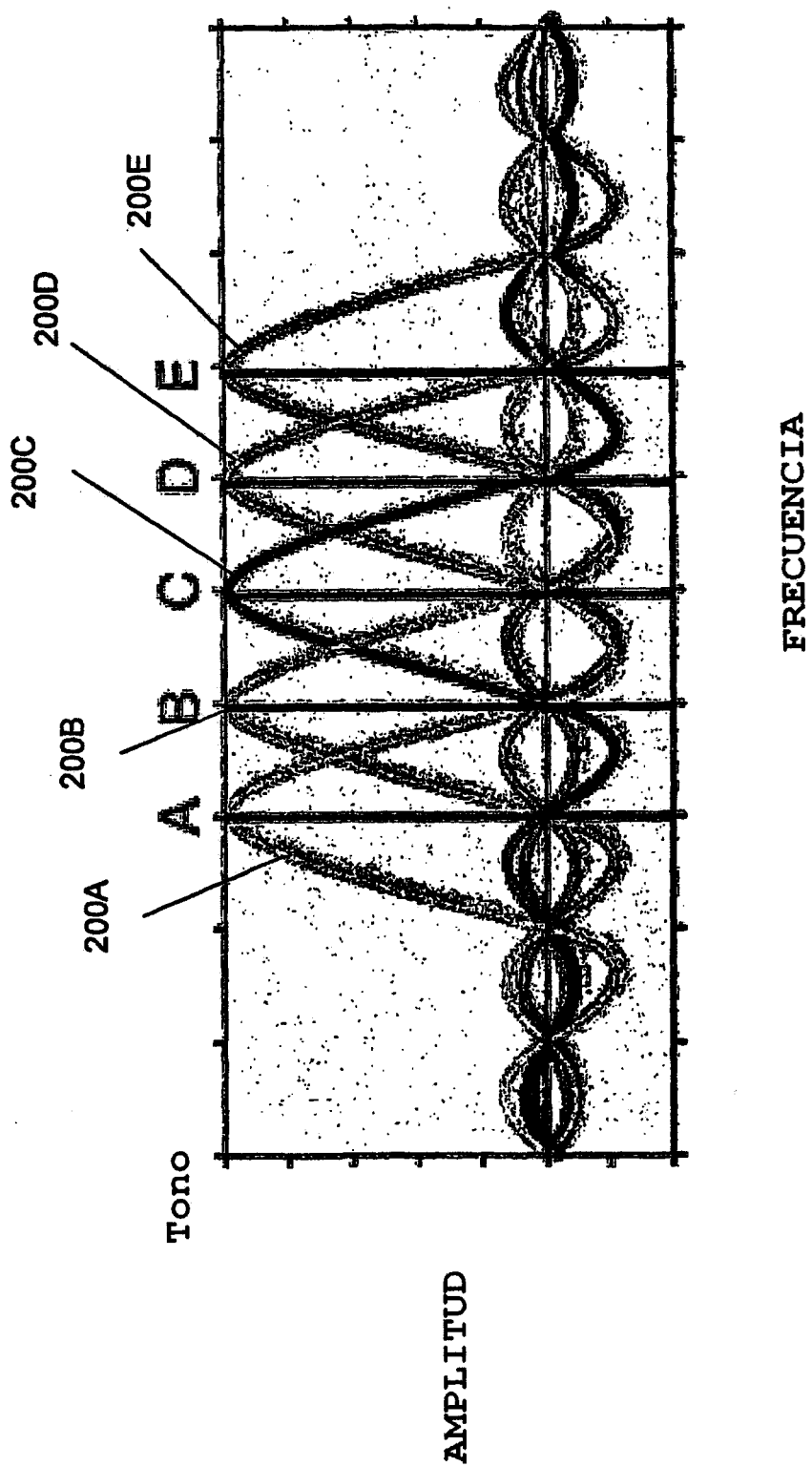


FIG. 2

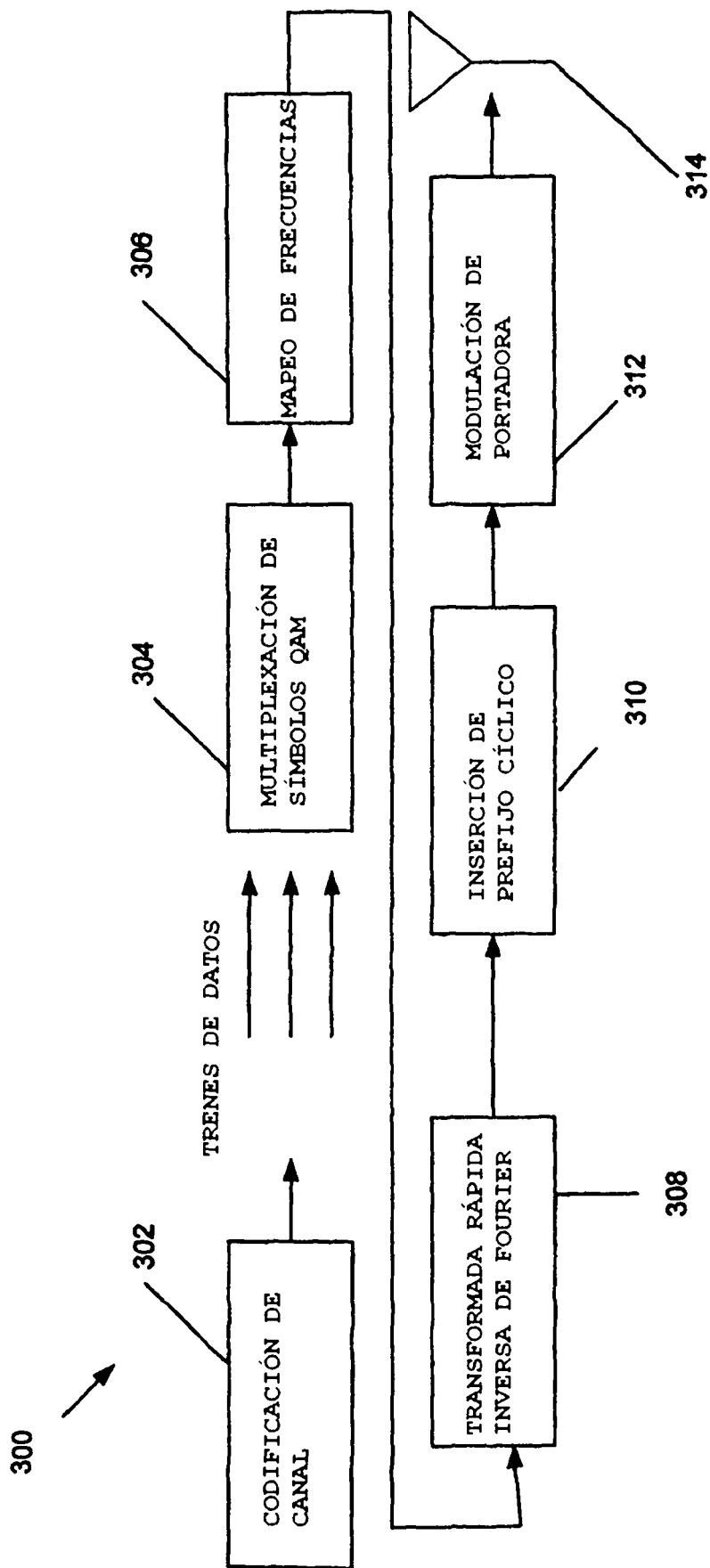


FIG. 3

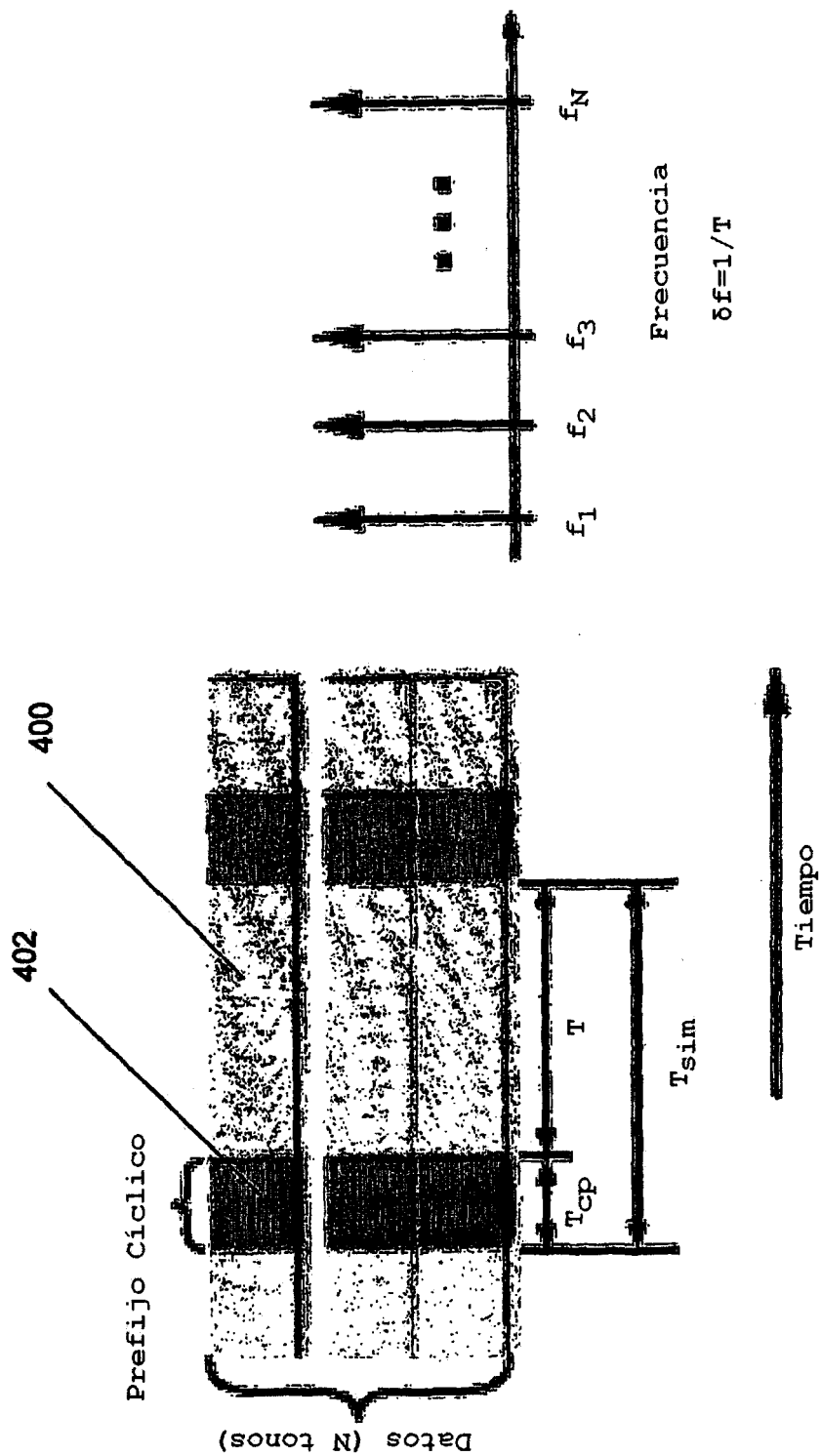


FIG. 4A

FIG. 4B

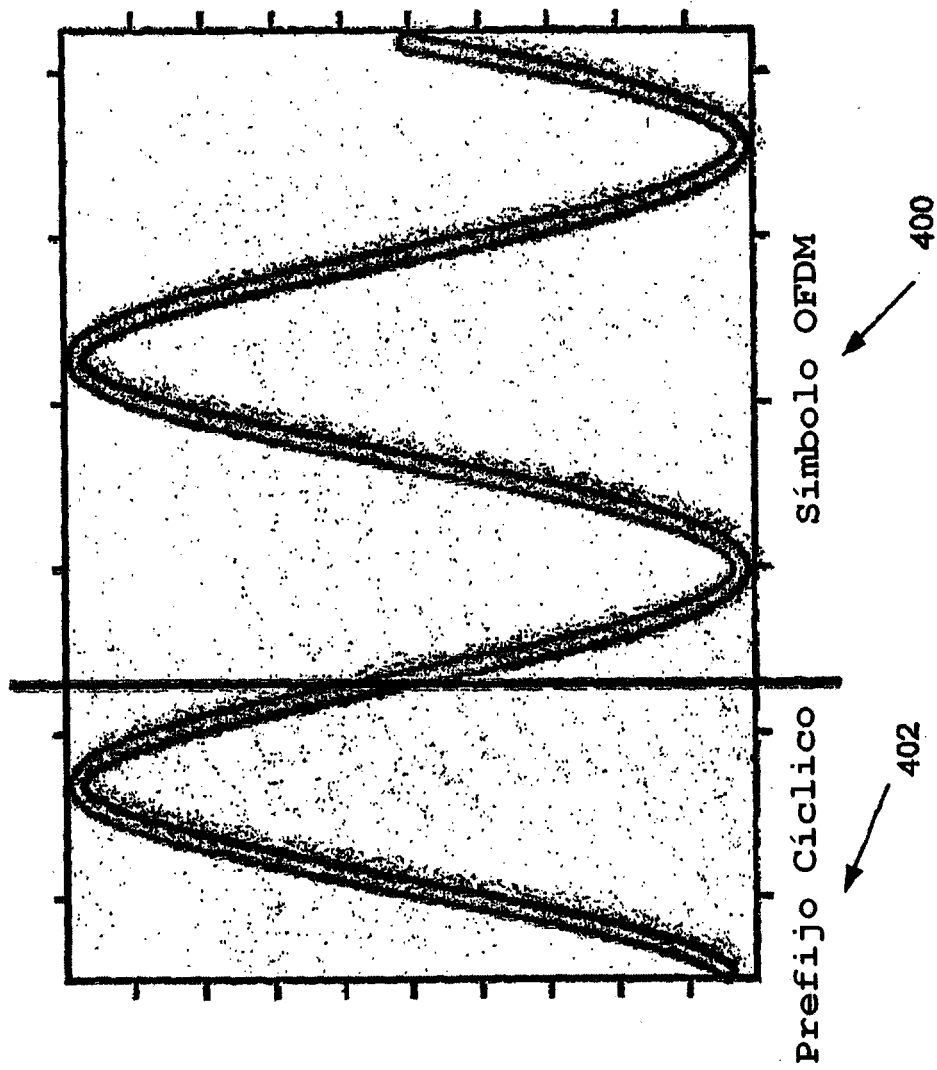


FIG. 4C

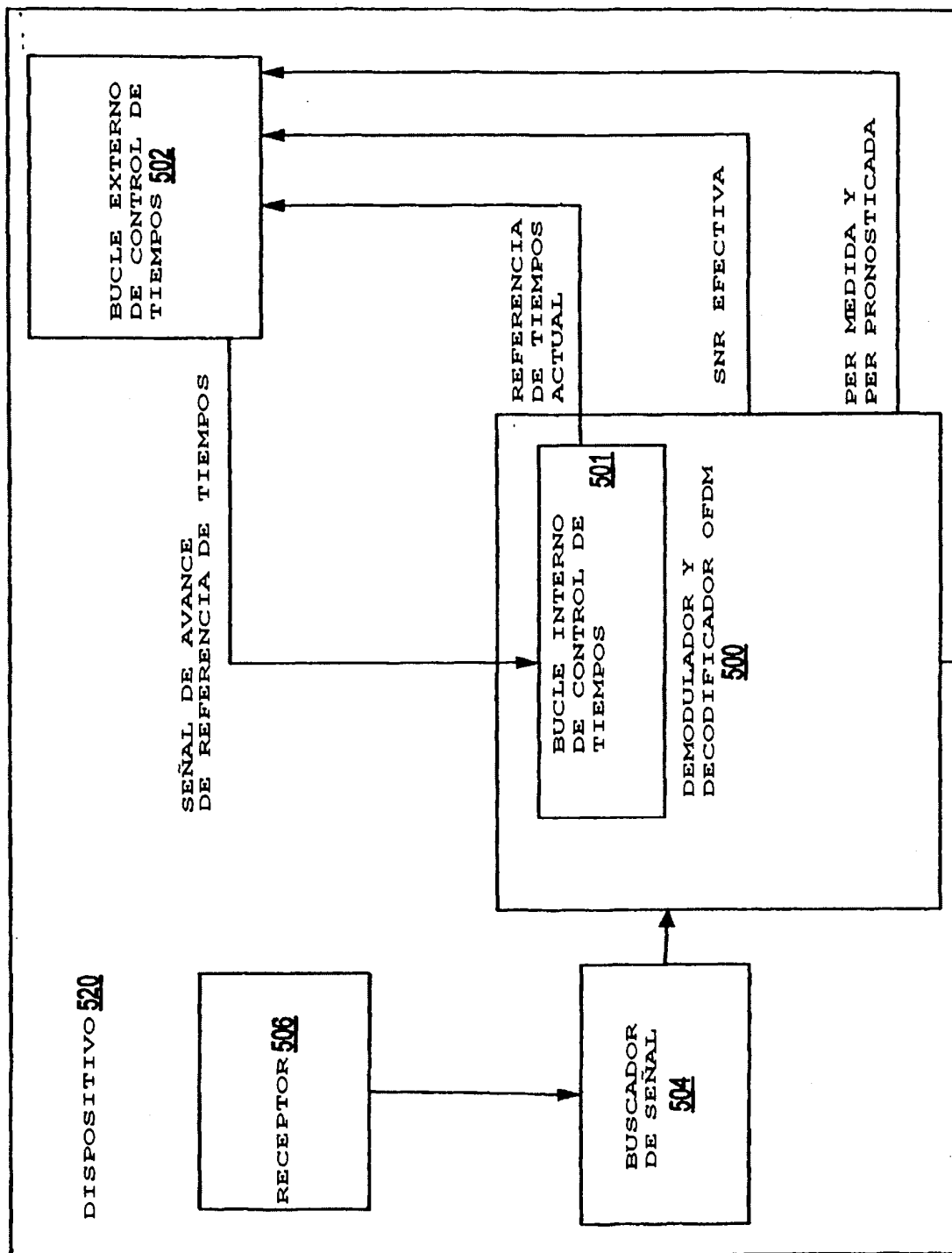


FIG. 5

DATOS DECODIFICADOS

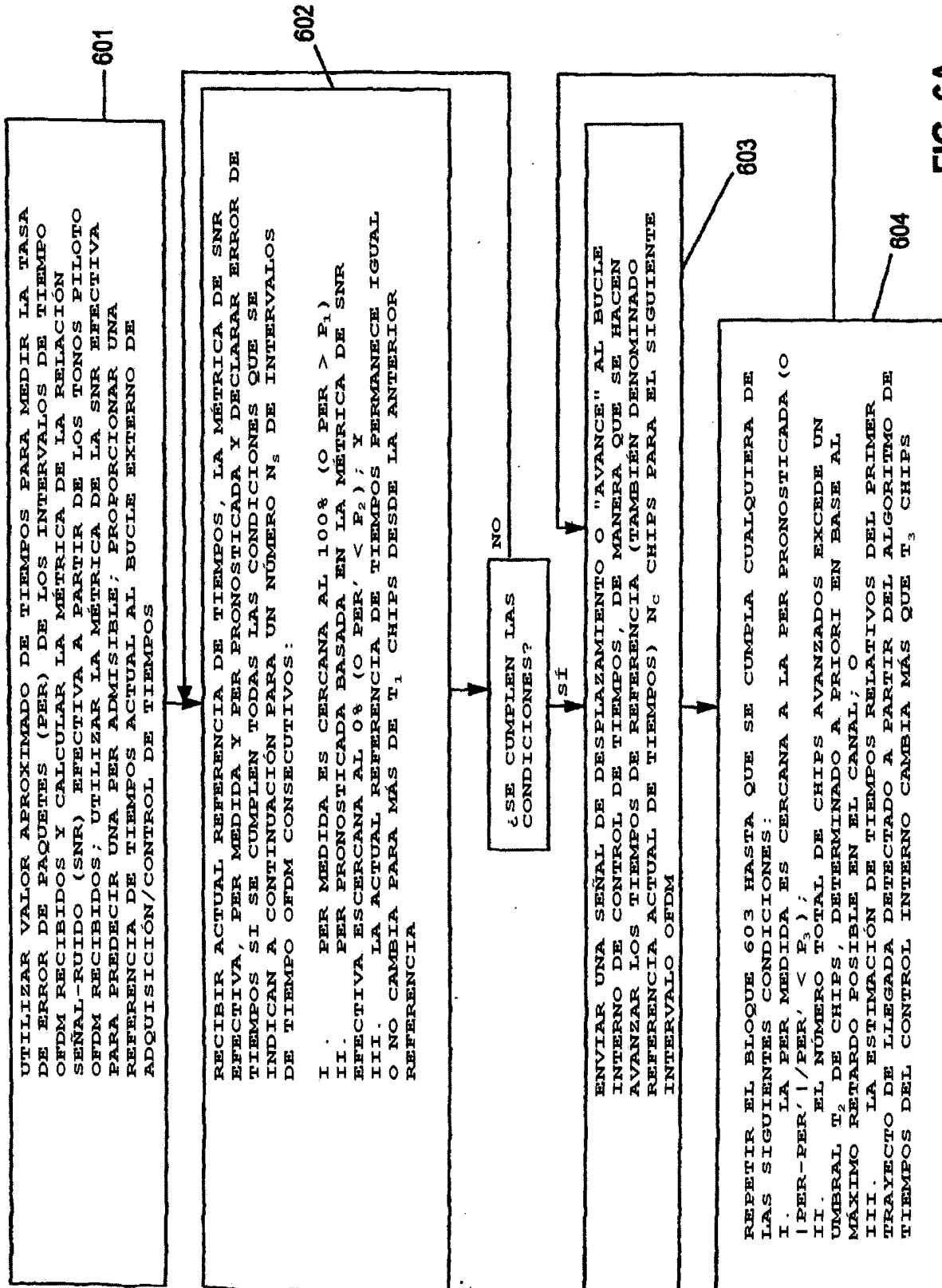


FIG. 6A

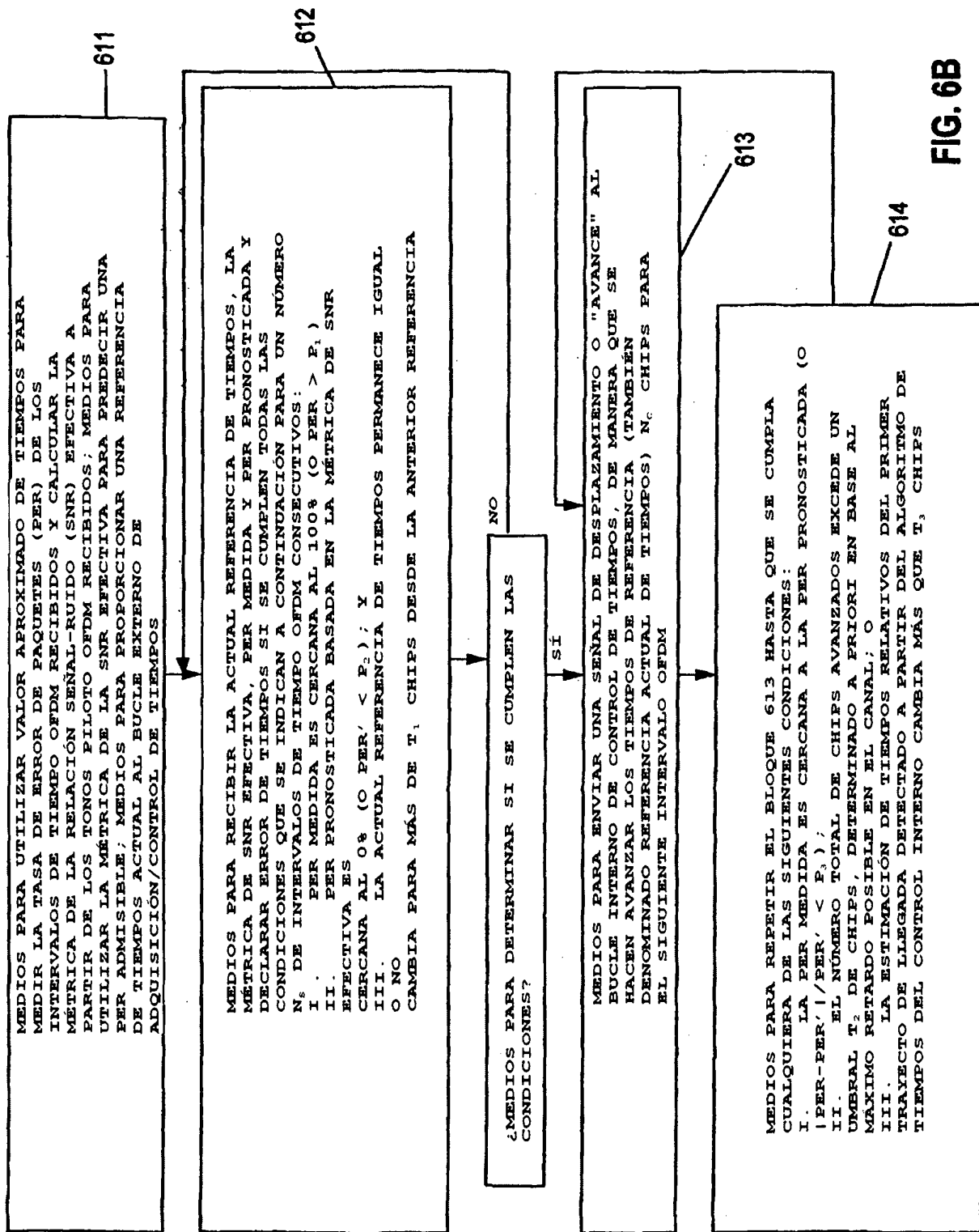


FIG. 6B

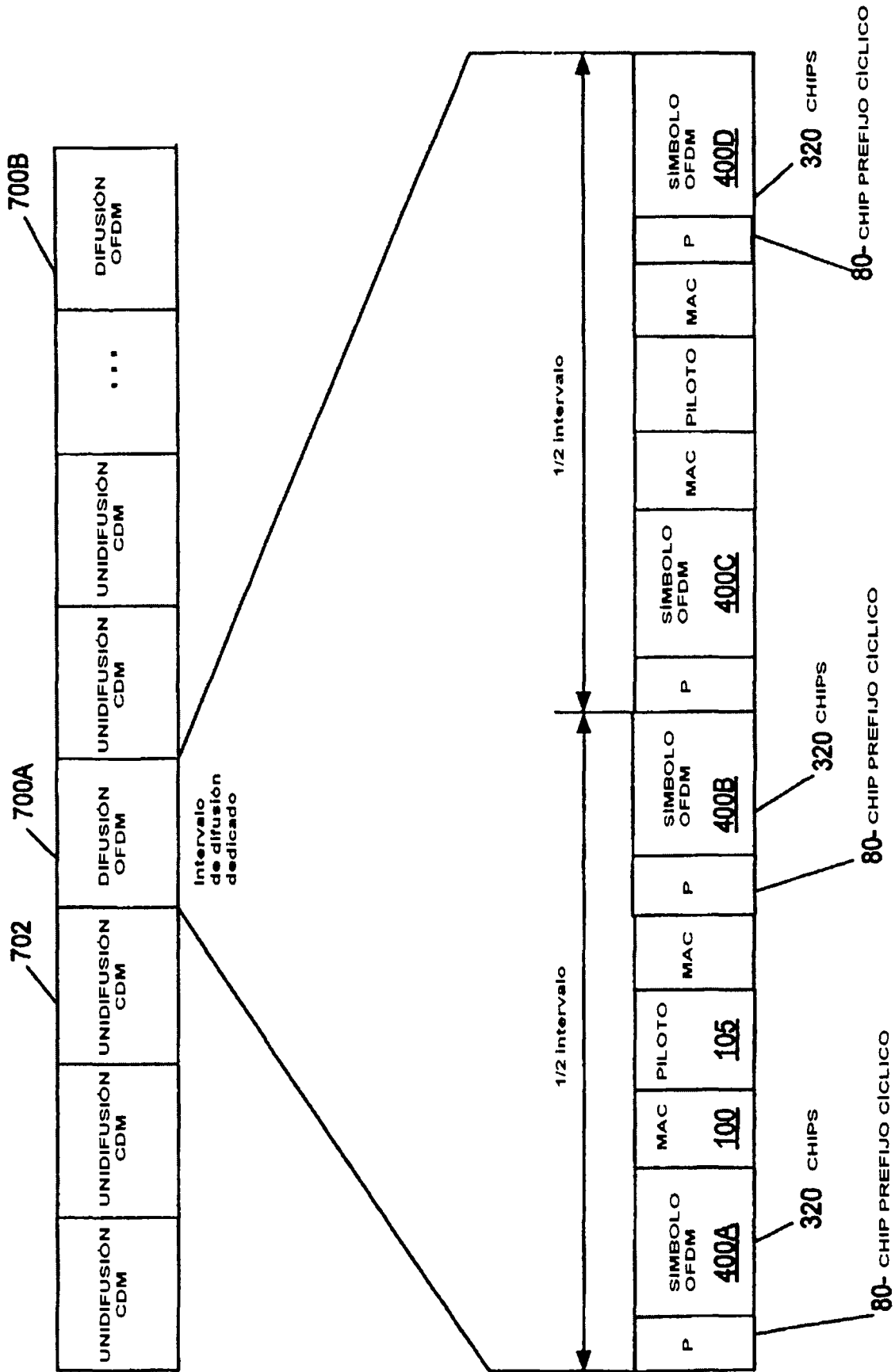


FIG. 7

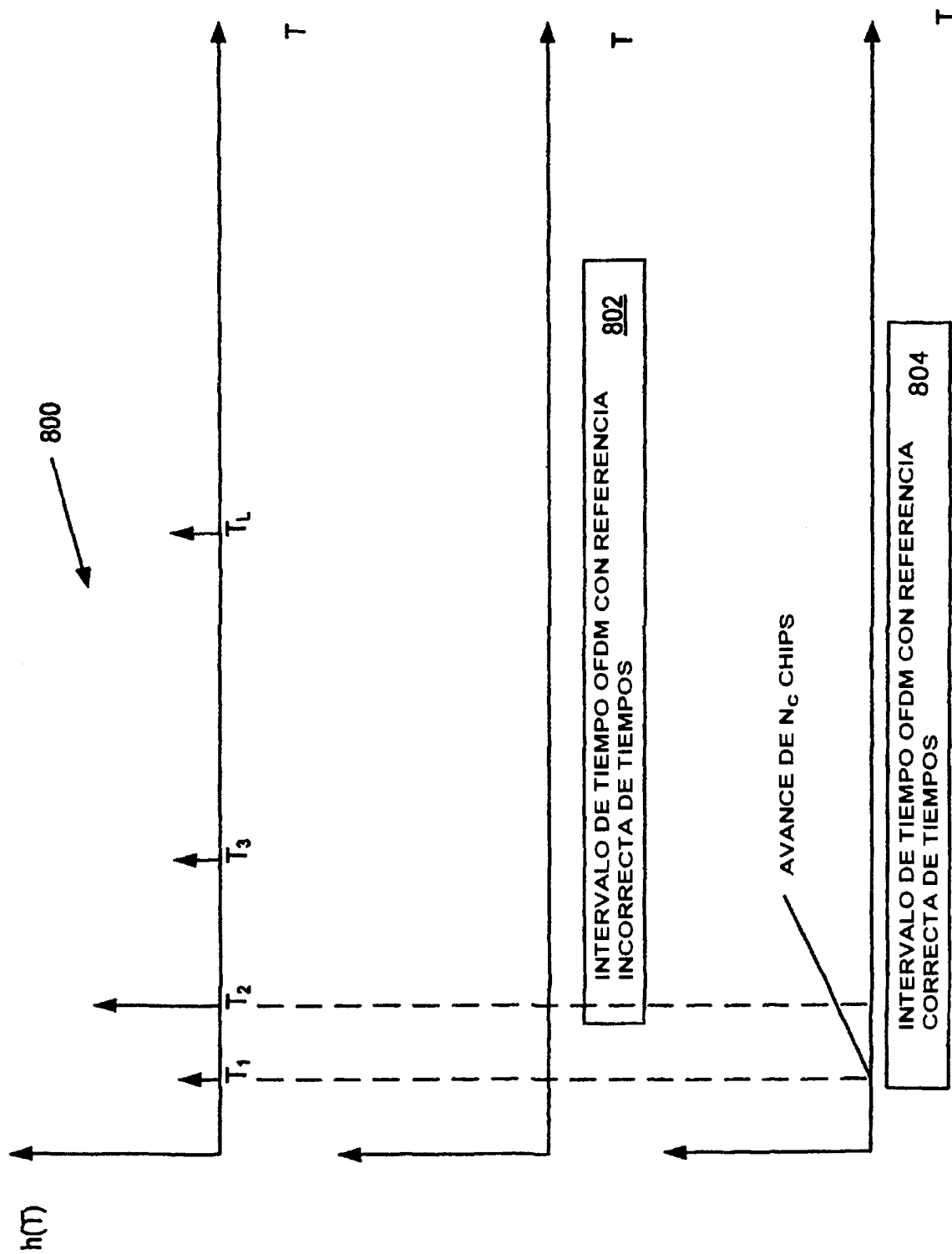


FIG. 8