

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 013**

51 Int. Cl.:

H04L 27/26 (2006.01)

H04L 1/00 (2006.01)

H04L 1/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.11.2002 PCT/US2002/37335**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.06.2003 WO03047197**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2002 E 02804011 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 1454467**

54 Título: **Selección de velocidad para un sistema OFDM**

30 Prioridad:

21.11.2001 US 991039

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

28.12.2017

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 MOREHOUSE DRIVE
SAN DIEGO, CALIFORNIA 92121, US**

72 Inventor/es:

**JALALI, AHMAD y
FERNANDEZ CORBATON, IVAN, JESUS**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 648 013 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

Selección de velocidad para un sistema OFDM

5 ANTECEDENTES

Campo

10 [0001] La presente invención se refiere en general a la comunicación de datos y, de forma más específica, a técnicas para seleccionar la velocidad para un sistema de comunicación inalámbrica.(por ejemplo, OFDM).

Antecedentes

15 [0002] Los sistemas de comunicación inalámbrica están ampliamente desplegados para proporcionar varios tipos de comunicación, como voz, datos, etc. Estos sistemas pueden implementar la modulación multiplex por división de frecuencia ortogonal (OFDM), que puede ser capaz de proporcionar un alto rendimiento para algunos entornos de canales. En un sistema OFDM, el ancho de banda del sistema se divide eficazmente en un número de subcanales de frecuencia (N_F) (que se puede denominar como sub-bandas o bins de frecuencia). Cada subcanal de frecuencia está asociado con una respectiva subportadora (o tono de frecuencia) sobre la cual se pueden modular los datos. Típicamente, los datos a transmitir (es decir, los bits de información) se codifican con un esquema de codificación particular para generar bits codificados, y los bits codificados pueden además agruparse en símbolos de múltiples bits que a continuación se asignan a símbolos de modulación basándose en un esquema de modulación particular (por ejemplo, M-PSK o M-QAM). En cada intervalo de tiempo, que puede depender del ancho de banda de cada subcanal de frecuencia, un símbolo de modulación puede transmitirse en cada uno de las N_F subcanales de frecuencia.

20 [0003] Los subcanales de frecuencia de un sistema OFDM pueden experimentar diferentes condiciones de canal (por ejemplo, diferentes efectos de atenuación y multitrayecto) y pueden lograr diferentes relaciones señal-ruido e interferencia (SNR). Cada símbolo de modulación transmitido se ve afectado por la respuesta de frecuencia del canal de comunicación en el subcanal de frecuencia particular a través del cual se transmitió el símbolo. Dependiendo del perfil multitrayecto del canal de comunicación, la respuesta de frecuencia puede variar ampliamente a lo largo del ancho de banda del sistema. Por lo tanto, los símbolos de modulación que forman colectivamente un paquete de datos particular, pueden ser recibidos individualmente con una amplia gama de SNR a través de los subcanales de frecuencia N_F , y la SNR variaría entonces de forma correspondiente a través de todo el paquete.

30 [0004] Para un canal de multitrayecto con una respuesta de frecuencia que no es plana o constante, el número de bits de información por símbolo de modulación (es decir, la velocidad de datos o velocidad de información) que puede ser transmitida de manera fiable en cada subcanal de frecuencia puede ser diferente de un subcanal a otro. Además, las condiciones del canal típicamente varían con el tiempo. Como resultado, las velocidades de datos compatibles para los subcanales de frecuencia también varían con el tiempo.

35 [0005] Dado que las condiciones de canal experimentadas por un receptor dado típicamente no son conocidas *a priori*, no es práctico transmitir datos a la misma potencia de transmisión y/o velocidad de datos a todos los receptores. Ajustar estos parámetros de transmisión probablemente daría como resultado un desperdicio de la potencia de transmisión, el uso de velocidades de datos subóptimas para algunos receptores, y una comunicación no fiable para algunos otros receptores, todo lo cual conduce a una disminución indeseable de la capacidad del sistema. Las diferentes capacidades de transmisión de los canales de comunicación para diferentes receptores más la naturaleza de variante temporal y multitrayecto de estos canales hacen que sea difícil codificar y modular efectivamente los datos para la transmisión en un sistema OFDM.

40 [0006] Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de técnicas para seleccionar la velocidad adecuada para la transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrica (por ejemplo, OFDM) que tenga las características de canal descritas anteriormente.

45 [0007] La patente de Estados Unidos 5,914,933 divulga un sistema de comunicación OFDM agrupado, en el que para una realización particular del canal multitrayecto, se calcula una SNR equivalente para cada subcanal y se determina la cantidad de subcanales que cumplen alguna SNR (o probabilidad de error de bit P_b) objetivo.

60 RESUMEN

[0008] Los aspectos de la invención tal como se exponen en las reivindicaciones adjuntas proporcionan técnicas para determinar y seleccionar la velocidad para una transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrica (por ejemplo, OFDM). Estas técnicas se pueden usar para proporcionar un rendimiento mejorado del sistema para un sistema OFDM que funciona con un canal multitrayecto (no plano) o un canal plano.

[0009] En un aspecto, la velocidad de datos máxima que puede transmitirse de manera fiable sobre un canal multitrayecto dado mediante el sistema OFDM se determina basándose en una métrica para un canal de frecuencia plana equivalente (por ejemplo, un canal que tiene una respuesta de frecuencia plana). Para el canal multitrayecto dado, que se define mediante una respuesta de frecuencia particular y una varianza de ruido particular, el sistema OFDM puede ser capaz de alcanzar una velocidad de datos equivalente particular D_{equiv} usando un esquema de modulación particular $M(r)$. La velocidad de datos equivalente, D_{equiv} , se puede estimar basándose en una función de capacidad de canal particular (por ejemplo, una función de capacidad de canal restringida o alguna otra función). La métrica, que es una estimación de la SNR requerida por el canal plano de frecuencia equivalente para transmitir de manera fiable a la velocidad de datos equivalente D_{equiv} usando el esquema de modulación $M(r)$, se determina entonces para D_{equiv} usando $M(r)$ y basándose además en una función particular $g(D_{\text{equiv}}, M(r))$. A continuación, se determina una SNR de umbral necesaria para que el canal equivalente transmita de manera fiable una velocidad de datos particular $D(r)$ utilizando el esquema de modulación $M(r)$ y la velocidad de codificación $C(r)$. A continuación, se considera que la velocidad de datos $D(r)$ es soportada por el canal multitrayecto si la métrica es mayor o igual que el umbral SNR.

[0010] En otro aspecto, se proporciona un esquema de transmisión incremental (IT) y se puede utilizar ventajosamente en conjunción con la selección de velocidad del primer aspecto para reducir la cantidad de desconexión y para mejorar el rendimiento del sistema. El esquema de IT transmite un paquete de datos dado usando una o más transmisiones discretas, una transmisión cada vez y hasta un límite particular. La primera transmisión para el paquete incluye una cantidad de datos suficiente para que el paquete pueda recuperarse sin errores en el receptor basándose en las condiciones de canal esperadas. Sin embargo, si la primera transmisión es degradada excesivamente por el canal de comunicación de manera que no se logra la recuperación sin errores del paquete, entonces se realiza una transmisión incremental de una cantidad adicional de datos para el paquete. A continuación, el receptor intenta recuperar el paquete basándose en los datos adicionales en la transmisión incremental y en todos los datos recibidos previamente para el paquete. La transmisión incremental mediante el transmisor y la descodificación mediante el receptor pueden intentarse una o más veces, hasta que el paquete se recupere sin errores o se alcance el número máximo de transmisiones incrementales.

[0011] A continuación se describen en más detalle diversos aspectos y modos de realización de la invención. La invención proporciona además procedimientos, unidades de receptor, unidades de transmisor, sistemas receptores, sistemas transmisores, sistemas y otros aparatos y elementos que implementan diversos aspectos, modos de realización y características de la invención, como se describe con más detalle a continuación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0012] Las características, la naturaleza y las ventajas de la presente invención resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada expuesta a continuación cuando se toma en consideración junto con los dibujos, en la totalidad de los cuales unos caracteres de referencia iguales identifican a los correspondientes componentes iguales, y en los que:

La FIG. 1A es un diagrama de un modelo simplificado de un sistema de comunicaciones OFDM.

La FIG. 1B es un diagrama que ilustra gráficamente la selección de velocidad para un canal multitrayecto usando un canal equivalente;

La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un modo de realización de un proceso para seleccionar la velocidad de datos para uso en el sistema OFDM basándose en una métrica Ψ ;

La FIG. 3 es un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema transmisor y un sistema receptor, que son capaces de implementar diversos aspectos y modos de realización de la invención.

La FIG. 4 es un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad de transmisor; y

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad de receptor.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0013] Las técnicas descritas en el presente documento para determinar y seleccionar la tarifa para una transmisión de datos se pueden usar para diversos sistemas de comunicación inalámbrica que comprenden uno o más canales de transmisión independientes, por ejemplo, sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Para una mayor claridad, diversos aspectos y modos de realización de la invención se describen específicamente para un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), donde los canales de transmisión independientes son los bins o subcanales de frecuencia formados dividiendo el ancho de banda total del sistema.

[0014] La FIG. 1A es un diagrama de un modelo simplificado del sistema OFDM. En un transmisor 110, se proporcionan datos de tráfico a una velocidad de datos particular desde una fuente de datos 112 a un codificador /

modulador 114, que codifica los datos de acuerdo con uno o más esquemas de codificación y además modula los datos codificados de acuerdo con uno o más esquemas de modulación. La modulación se puede lograr agrupando conjuntos de bits codificados para formar símbolos de múltiples bits y asignando cada símbolo de múltiples bits a un punto en una constelación de señales correspondiente al esquema de modulación particular (por ejemplo, QPSK, M-PSK o M-QAM) seleccionado para cada subcanal de frecuencia utilizado para transmitir el símbolo. Cada punto de señal asignado corresponde a un símbolo de modulación.

[0015] En un modo de realización, la velocidad de datos se determina mediante un control de velocidad de datos, el (los) esquema(s) de codificación se determina(n) mediante un control de codificación, y el (los) esquema(s) de modulación se determina(n) mediante un control de modulación, todos los cuales se proporcionan mediante un controlador 130 basándose en la información de realimentación recibida de un receptor 150.

[0016] También se puede transmitir un piloto al receptor para ayudarle a realizar varias funciones, tales como estimación de canal, adquisición, sincronización de temporización y frecuencia, desmodulación de datos coherente, etc. En este caso, se proporcionan datos piloto al codificador / modulador 114, que luego multiplexa y procesa los datos piloto con los datos de tráfico.

[0017] Para OFDM, los datos modulados (es decir, los símbolos de modulación) se transforman a continuación al dominio temporal mediante un transformador inverso de Fourier rápido (IFFT) 116 para proporcionar símbolos OFDM, con cada símbolo OFDM correspondiente a una representación de tiempo de un vector de N_F símbolos de modulación a transmitir por subcanales de frecuencia N_F en un periodo de símbolo de transmisión. A diferencia de un sistema de "código de tiempo" de portadora única, el sistema OFDM transmite efectivamente los símbolos de modulación "en el dominio de frecuencia", enviando en el dominio temporal el IFFT de los símbolos de modulación que representan los datos de tráfico. Los símbolos OFDM se procesan adicionalmente (no se muestran en la FIG. 1A por simplicidad) para generar una señal modulada, que luego se transmite por un canal de comunicación inalámbrica al receptor. Como se muestra en la FIG. 1A, el canal de comunicación tiene una respuesta de frecuencia de $H(f)$ y degrada aún más la señal modulada con ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) de $n(t)$.

[0018] En el receptor 150, la señal modulada transmitida se recibe, se acondiciona y se digitaliza para proporcionar muestras de datos. A continuación, un transformador de Fourier (FFT) rápido 160 recibe y transforma las muestras de datos al dominio de frecuencia, y los símbolos de OFDM recuperados se proporcionan a un desmodulador / decodificador 162 y un estimador de canal 164. El desmodulador / decodificador 162 procesa (por ejemplo, desmodula y decodifica) los símbolos OFDM recuperados para proporcionar datos descodificados, y puede proporcionar además un estado de cada paquete recibido. El estimador de canal 164 procesa los símbolos OFDM recuperados para proporcionar estimaciones de una o más características del canal de comunicación, tales como la respuesta de frecuencia del canal, la varianza de ruido del canal, la relación señal-ruido-interferencia (SNR) de los símbolos recibidos, etc.

[0019] Un selector de velocidad 166 recibe las estimaciones de estimador de canal 164 y determina una "velocidad" adecuada que puede usarse para todos o un subconjunto de los subcanales de frecuencia disponibles para su uso para transmisión de datos. La velocidad es indicativa de un conjunto de valores específicos para un conjunto de parámetros. Por ejemplo, la velocidad puede indicar (o puede estar asociada a) una velocidad de datos específica para ser utilizada para la transmisión de datos, un esquema de codificación y/o una velocidad de codificación específicos, un esquema de modulación específico, etc.

[0020] Un controlador 170 recibe la velocidad del selector de velocidad 166 y el estado de paquete desde el desmodulador / decodificador 162 y proporciona la información de realimentación apropiada para ser enviada de vuelta al transmisor 110. Esta información de realimentación puede incluir la velocidad, las estimaciones de canal proporcionadas por el estimador de canal 164, una confirmación (ACK) o confirmación negativa (NACK) para cada paquete recibido, alguna otra información, o cualquier combinación de las mismas. La información de realimentación se usa para aumentar la eficiencia del sistema ajustando el procesamiento de datos en el transmisor de manera que la transmisión de datos se realiza con los mejores ajustes conocidos de potencia y velocidad que puede soportar el canal de comunicación. A continuación, la información de realimentación se envía de vuelta al transmisor 110 y se usa para ajustar el procesamiento (por ejemplo, la velocidad de datos, la codificación y la modulación) de la transmisión de datos al receptor 150.

[0021] En el modo de realización mostrado en la FIG. 1A, la selección de velocidad la realiza el receptor 150 y la velocidad seleccionada se proporciona al transmisor 110. En otros modos de realización, la selección de velocidad puede ser realizada por el transmisor basándose en la información de realimentación proporcionada por el receptor, o puede ser realizada conjuntamente por el transmisor y el receptor.

[0022] En condiciones adecuadas, los símbolos OFDM recuperados a la salida de FFT 160 pueden expresarse como:

$$\hat{Y}(k) = Y(k)H(k) + N(k), \quad \text{Ec (1)}$$

donde k es un índice para los subcanales de frecuencia del sistema OFDM, es decir, $k = 0, 1, \dots, N_F - 1$, donde N_F es el número de subcanales de frecuencia;

5 $Y(k)$ son los símbolos de modulación transmitidos en el subcanal de frecuencia k -ésimo, que se obtienen basándose en un esquema de modulación particular usado para el subcanal de frecuencia k -ésimo;

$H(k)$ es la respuesta de frecuencia del canal de comunicación, representado en forma "cuantificada" para cada subcanal de frecuencia;

10 $N(k)$ representa la FFT de una secuencia de N_F muestras del ruido de dominio temporal, es decir, $\text{FFT}\{n(kT)\}$ para $k = 0, 1, \dots, N_F - 1$; y

T es el período de muestreo.

15 **[0023]** En un solo sistema de soporte, todos los símbolos transmitidos pueden recibirse en el receptor a aproximadamente la misma SNR. La relación entre la SNR de un paquete "SNR constante" y la probabilidad de error para el paquete es bien conocida en la técnica. Como una aproximación, la velocidad de datos máxima soportada por el sistema de portadora única con una SNR alcanzada particular puede estimarse como la velocidad de datos máxima soportada por un canal AWGN con la misma SNR. La principal característica del canal AWGN es que su respuesta de frecuencia es plana o constante en todo el ancho de banda del sistema.

20 **[0024]** Sin embargo, en un sistema OFDM, los símbolos de modulación que forman un paquete se transmiten por múltiples subcanales de frecuencia. Dependiendo de la respuesta de frecuencia de los subcanales de frecuencia utilizados para transmitir el paquete, la SNR puede variar en todo el paquete. Este problema de paquete de "SNR variable" se agrava a medida que aumenta el ancho de banda del sistema y para un entorno multitrayecto.

30 **[0025]** Un reto importante para un sistema OFDM es determinar a continuación la velocidad de datos máxima que puede utilizarse para la transmisión de datos, obteniéndose al mismo tiempo un nivel particular de rendimiento, que puede cuantificarse mediante una tasa de error de paquetes (PER) particular, una tasa de error de trama (FER), una tasa de error de bit (BER), o algún otro criterio. Por ejemplo, el nivel de rendimiento deseado puede lograrse manteniendo la PER dentro de una ventana pequeña alrededor de un valor nominal particular (por ejemplo, $P_e = 1\%$).

35 **[0026]** En un sistema de comunicación típico, puede definirse un conjunto de velocidades de datos específicas y discretas, y solo estas velocidades de datos pueden estar disponibles para su uso. Cada velocidad de datos, $D(r)$, puede estar asociada con un esquema o constelación de modulación específico, $M(r)$, y una velocidad de codificación específica, $C(r)$. Cada velocidad de datos requeriría además una SNR(r) particular, que es la SNR mínima a la que la PER resultante para la transmisión de datos a esa velocidad de datos es menor o igual que la PER, P_e deseada. Esta SNR(r) asume que el canal de comunicación es AWGN (es decir, con una respuesta de frecuencia plana en todo el ancho de banda del sistema, o $H(k) = H$ para todo k). Típicamente, el canal de comunicación entre el transmisor y el receptor no es AWGN, sino que en lugar de eso es dispersivo o selectivo de frecuencia (es decir, diferentes cantidades de atenuación en diferentes sub-bandas del ancho de banda del sistema). Para dicho canal multitrayecto, la velocidad de datos particular a usar para la transmisión de datos puede seleccionarse para tener en cuenta la naturaleza multitrayecto o selectiva de frecuencia del canal.

45 **[0027]** Cada velocidad de datos, $D(r)$, puede por lo tanto estar asociada con un conjunto de parámetros que la caracteriza. Estos parámetros pueden incluir el esquema de modulación $M(r)$, la velocidad de codificación $C(r)$, y la SNR requerida (r), de la forma siguiente:

50
$$D(r) \leftrightarrow [M(r), C(r), \text{SNR}(r)], \quad \text{Ec (2)}$$

donde r es un índice para las velocidades de datos, es decir, $r = 0, 1, \dots, N_R - 1$, donde N_R es el número total de velocidades de datos disponibles para su uso. La expresión (2) establece que la velocidad de datos $D(r)$ puede transmitirse utilizando el esquema de modulación $M(r)$ y la velocidad de codificación $C(r)$ y requiere además SNR(r) en un canal AWGN para lograr el deseado PER nominal P_e . Las velocidades de datos N_R pueden ordenarse de manera que $D(0) < D(1) < D(2) \dots < D(N_R - 1)$.

60 **[0028]** De acuerdo con un aspecto de la invención, la velocidad de datos máxima que puede transmitirse de manera fiable por un canal multitrayecto dado en un sistema OFDM se determina basándose en una métrica para un canal AWGN equivalente. La transmisión fiable se logra si la PER deseada de P_e se mantiene para la transmisión de datos. Los detalles de este aspecto se describen a continuación.

65 **[0029]** La FIG. 1B es un diagrama que ilustra gráficamente la selección de velocidad para un canal multitrayecto que usa un canal equivalente. Para un canal multitrayecto dado definido por una respuesta del canal de $H(k)$ y una varianza de ruido de N_0 , el sistema OFDM puede ser capaz de lograr una velocidad de datos equivalente de D_{equiv}

utilizando el esquema de modulación $M(k)$, donde $M(k)$ puede ser diferente para diferentes subcanales de frecuencia. Este D_{equiv} puede estimarse como se describe a continuación basándose en una función de capacidad de canal particular $f[H(k), N_0, M(k)]$. Dado que el ancho de banda de cada subcanal de frecuencia individual se normaliza a 1, no aparece como un argumento de la función $f[\cdot]$. La métrica, que es una estimación de la SNR, $\text{SNR}_{\text{equiv}}$, requerida por un canal AWGN equivalente para transmitir a la velocidad de datos equivalente de D_{equiv} utilizando el esquema de modulación $M(k)$ a la PER deseada de P_e , puede obtenerse para D_{equiv} usando $M(k)$ y además basándose en una función $g(D_{\text{equiv}}, M(k))$ que también se describe a continuación.

[0030] Para una velocidad de datos $D(k)$, esquema de modulación $M(k)$, y velocidad de codificación $C(k)$, el canal AWGN necesitaría una SNR de $\text{SNR}_{\text{ésima}}$ o mejor para lograr la PER deseada de P_e . Este umbral $\text{SNR}_{\text{ésima}}$ puede determinarse mediante simulación por ordenador o por otros medios. Entonces se puede considerar que la velocidad de datos $D(k)$ es soportada por el sistema OFDM para el canal multitrayecto si la métrica (o $\text{SNR}_{\text{equiv}}$) es igual o mayor que $\text{SNR}_{\text{ésima}}$. A medida que aumenta la velocidad de datos $D(k)$, el umbral $\text{SNR}_{\text{ésima}}$ aumenta para las condiciones del canal dadas definidas por $H(k)$ y N_0 . La velocidad de datos máxima que puede ser soportada por el sistema OFDM está por lo tanto limitada por las condiciones del canal. Se proporcionan diversos esquemas en el presente documento para determinar la velocidad de datos máxima que puede ser soportada por el sistema OFDM para el canal multitrayecto dado. Algunos de estos esquemas se describen a continuación.

[0031] En un primer esquema de selección de velocidad, la métrica Ψ recibe un conjunto de parámetros para una transmisión de datos por un canal multitrayecto dado en un sistema OFDM y, basándose en los parámetros recibidos, proporciona una estimación de la SNR para un equivalente de canal AWGN al canal multitrayecto. Estos parámetros de entrada a la métrica Ψ pueden incluir uno o más parámetros relacionados con el procesamiento de la transmisión de datos (por ejemplo, el esquema de modulación $M(k)$) y uno o más parámetros relacionados con el canal de comunicación (por ejemplo, la respuesta del canal $H(k)$ y la varianza de ruido N_0). Como se indicó anteriormente, el esquema de modulación $M(k)$ puede asociarse con una velocidad de datos específica $D(k)$. La métrica Ψ es la estimación de la SNR del canal AWGN equivalente (es decir, $\Psi \approx \text{SNR}_{\text{equiv}}$). A continuación, la velocidad de datos máxima soportada por el canal multitrayecto puede determinarse como la velocidad de datos más alta asociada con una SNR equivalente que es mayor o igual que el umbral SNR, $\text{SNR}_{\text{ésima}}$, requerida en el canal AWGN para lograr la PER deseada de P_e utilizando los esquemas de codificación y modulación asociados con la velocidad de datos.

[0032] Varias funciones se pueden utilizar para la métrica Ψ , algunas de las cuales se proporcionan a continuación. En un modo de realización, la métrica Ψ se define como:

$$\Psi = g \left\{ \left(\sum_{k=0}^{N_F-1} f[H(k), N_0, M] \right), M \right\} . \quad \text{Ec (3)}$$

En la ecuación (3), la función $f[H(k), N_0, M]$ determina la velocidad de datos máxima que el esquema de modulación M puede transportar en el subcanal de frecuencia k -ésimo con la respuesta de frecuencia $H(k)$ y la varianza de ruido N_0 . La función $f[H(k), N_0, M]$ se puede definir basándose en varias funciones de capacidad de canal, como se describe a continuación.

[0033] Los parámetros $H(k)$ y N_0 pueden asignarse a una $\text{SNR}(k)$. Si la potencia de transmisión total, P_{total} , para el sistema es fija y la asignación de la potencia de transmisión a los subcanales de frecuencia N_F es uniforme y fija, entonces la SNR para cada subcanal de frecuencia puede expresarse como:

$$\text{SNR}(k) = \frac{P_{\text{total}}}{N_F} \frac{|H(k)|^2}{N_0} . \quad \text{Ec (4)}$$

Como se muestra en la ecuación (4), $\text{SNR}(k)$ es una función de la respuesta del canal $H(k)$ y la varianza de ruido N_0 , que son dos de los parámetros de la función $f[H(k), N_0, M]$.

[0034] La suma en la ecuación (3) se realiza para $f[\cdot]$ por todos los N_F subcanales de frecuencia para proporcionar la velocidad de datos equivalente D_{equiv} que puede transmitirse en el canal AWGN. La función $g(D_{\text{equiv}}, M)$ determina entonces la SNR necesaria en el canal AWGN para transmitir de manera fiable a la velocidad de datos equivalente D_{equiv} utilizando el esquema de modulación M .

[0035] La ecuación (3) supone que el mismo esquema de modulación M se utiliza para todos los subcanales de frecuencia N_F en el sistema OFDM. Esta restricción da como resultado un procesamiento simplificado en el transmisor y el receptor en el sistema OFDM, pero puede sacrificar el rendimiento.

[0036] Si los diferentes esquemas de modulación se pueden usar para diferentes subcanales de frecuencia, entonces la métrica Ψ puede definirse como:

$$\Psi = \sum_{k=0}^{N_F-1} g(f[H(k), N_0, M(k)], M(k)) \quad \text{Ec (5)}$$

5 Como se muestra en la ecuación (5), el esquema de modulación, $M(k)$, es una función del índice k de los subcanales de frecuencia. El uso de diferentes esquemas de modulación y/o velocidades de codificación para diferentes subcanales de frecuencia también se denomina "carga de bits".

10 **[0037]** La función $f[x]$ determina la velocidad de datos que puede transmitirse de manera fiable por el canal AWGN para un conjunto de parámetros representados colectivamente como x , donde x puede ser una función de la frecuencia (es decir, $x(k)$). En la ecuación (5), la función $f[H(k), N_0, M(k)]$, donde $x(k) = \{H(k), N_0, M(k)\}$, determina la velocidad de datos que el esquema de modulación $M(k)$ puede tener en el subcanal de frecuencia k -ésimo con la respuesta del canal $H(k)$ y la varianza de ruido N_0 . La función $g(f[x(k)], M(k))$ determina a continuación la SNR necesaria en el canal AWGN equivalente para transportar la velocidad de datos determinada por $f[x(k)]$. La suma en la ecuación (5) se realiza a continuación para $g(f[x(k)], M(k))$ por todos los N_F subcanales de frecuencia para proporcionar la estimación de la SNR para el canal AWGN equivalente, $\text{SNR}_{\text{equiv}}$.

15 **[0038]** La función $f[x]$ se puede definir basándose en varias funciones de capacidad de canal o en algunas otras funciones o técnicas. La capacidad absoluta de un sistema se da típicamente como la velocidad de datos teórica máxima que puede transmitirse de manera fiable para la respuesta del canal $H(k)$ ya la varianza de ruido N_0 . La capacidad "restringida" de un sistema depende del esquema o constelación de modulación específico, $M(k)$, utilizado para la transmisión de datos y es menor que la capacidad absoluta.

20 **[0039]** En un modo de realización, la función $f[H(k), N_0, M(k)]$ se define basándose en la función de capacidad de canal restringida y se puede expresar como:

$$f(k) = M_k - \frac{1}{2^{M_k}} \sum_{i=1}^{2^{M_k}} E \left[\log_2 \sum_{j=1}^{2^{M_k}} \exp(-\text{SNR}(k)(|a_i - a_j|^2 + 2 \text{Re}\{x^*(a_i - a_j)\})) \right],$$

Ec (6)

30 donde M_k está relacionado con el esquema de modulación $M(k)$, es decir, el esquema de modulación $M(k)$ corresponde a una constelación de 2^{M_k} -aria (por ejemplo, QAM 2^{M_k} -aria), donde cada uno de los 2^{M_k} puntos en la constelación pueden identificarse por M_k bits;

35 a_i y a_j son los puntos en la constelación 2^{M_k} -aria;

x es una variable aleatoria gaussiana compleja con media cero y una varianza de $1/\text{SNR}(k)$; y

$E[\cdot]$ es la operación de expectativa, que se toma con respecto a la variable x en la ecuación (6).

40 **[0040]** La función de capacidad de canal restringida mostrada en la ecuación (6) no tiene una solución de forma cerrada. Por lo tanto, esta función puede obtenerse numéricamente para varios esquemas de modulación y valores de SNR, y los resultados pueden almacenarse en una o más tablas. A partir de entonces, la función $f[x]$ puede evaluarse accediendo a la tabla adecuada con un esquema de modulación específico y SNR.

45 **[0041]** En otro modo de realización, la función $f[x]$ se define basándose en la función de capacidad de canal de Shannon (o teórica) y se puede expresar como:

$$f(k) = \log_2[1 + \text{SNR}(k)] \quad \text{Ec (7)}$$

50 donde W es el ancho de banda del sistema. Como se muestra en la ecuación (7), la capacidad del canal de Shannon no está limitada por ningún esquema de modulación dado (es decir, $M(k)$ no es un parámetro en la ecuación (7)).

55 **[0042]** La elección particular de la función a utilizar para $f[x]$ puede depender de varios factores, tales como el diseño del sistema OFDM. Para un sistema típico que emplea uno o más esquemas de modulación específicos, se ha

encontrado que la matriz Ψ definida como se muestra en la ecuación (3), cuando se usa junto con la capacidad del canal restringida para la función $f[x]$ como se muestra en la ecuación (6), es un estimador preciso de la velocidad de datos máxima soportada para el sistema OFDM para el canal AWGN, así como para el canal multitrayecto.

5 **[0043]** La función $g(f[x], M(k))$ determina la SNR necesaria en el canal AWGN para soportar la velocidad de datos equivalente, que se determina mediante la función $f[x]$, utilizando el esquema de modulación $M(k)$. En un modo de realización, la función $g(f[x], M(k))$ se define como:

$$g(f[x], M(k)) = f[x]^{-1} . \quad \text{Ec (8)}$$

10 Dado que la función $f[x]$ depende del esquema de modulación $M(k)$, la función $g(f[x], M(k))$ también depende del esquema de modulación. En una implementación, la función $f[x]^{-1}$ puede obtenerse para cada esquema de modulación que puede seleccionarse para su uso y puede almacenarse en una tabla respectiva. La función $g(f[x], M(k))$ puede entonces evaluarse para un valor dado de $f[x]$ accediendo a la tabla específica para el esquema de modulación $M(k)$. La función $g(f[x], M(k))$ también se puede definir usando otras funciones u obtenerse por otros medios, y esto está dentro del alcance de la invención.

15 **[0044]** La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un modo de realización de un proceso 200 para seleccionar la velocidad de datos para el uso en el sistema OFDM basándose en la métrica Ψ . Inicialmente, las velocidades de datos disponibles (es decir, las soportadas por el sistema OFDM) se ordenan de manera que $D(0) < D(1) < \dots < D(N_R - 1)$. A continuación se selecciona la velocidad de datos más alta disponible (por ejemplo, estableciendo una variable de velocidad en el índice para la velocidad de datos más alta, o velocidad = $N_R - 1$), en el paso 212. Varios parámetros asociados con la velocidad de datos $D(\text{velocidad})$ seleccionada, tales como el esquema de modulación $M(\text{velocidad})$, se determinan a continuación, en el paso 214. Dependiendo del diseño del sistema OFDM, cada velocidad de datos puede estar asociada con uno o múltiples esquemas de modulación. Cada esquema de modulación de la velocidad de datos seleccionada puede evaluarse a continuación basándose en el siguiente paso. Para simplificar, lo siguiente supone que solo se asocia un esquema de modulación con cada velocidad de datos.

20 **[0045]** A continuación se evalúa la métrica Ψ para el esquema específico de modulación $M(\text{velocidad})$ asociado con la velocidad de datos seleccionada $D(\text{velocidad})$, en el paso 216. Esto se puede lograr evaluando la función para la métrica Ψ , como se muestra en la ecuación (3), que es:

$$\Psi = g \left\{ \left(\sum_{k=0}^{N_F-1} f[H(k), N_0, M(\text{velocidad})] \right), M(\text{velocidad}) \right\} .$$

25 La métrica Ψ representa una estimación de la SNR necesaria en el canal AWGN equivalente para transmitir de manera fiable la velocidad de datos equivalente utilizando el esquema de modulación $M(\text{velocidad})$.

30 **[0046]** A continuación se determina el umbral SNR, $\text{SNR}_{\text{ésima}}(\text{velocidad})$, necesario para transmitir la velocidad de datos seleccionada $D(\text{velocidad})$ con la PER deseada de P_e en el canal AWGN, en el paso 218. El umbral $\text{SNR}_{\text{ésima}}(\text{velocidad})$ es una función del esquema de modulación $M(\text{velocidad})$ y la velocidad de codificación $C(\text{velocidad})$ asociada con la velocidad de datos seleccionada. El umbral SNR puede determinarse para cada una de las velocidades de datos posibles mediante simulación por ordenador o por algún otro medio, y puede almacenarse para un uso posterior.

35 **[0047]** A continuación se determina si la métrica Ψ es mayor que o igual al umbral $\text{SNR}_{\text{ésima}}(\text{velocidad})$ asociado con la velocidad de datos seleccionada, en el paso 220. Si la métrica Ψ es mayor o igual que $\text{SNR}_{\text{ésima}}(\text{velocidad})$, lo cual indica que la SNR lograda por el sistema OFDM para la velocidad de datos $D(\text{velocidad})$ en el canal multitrayecto es suficiente para alcanzar la PER deseada de P_e , entonces esa velocidad de datos se selecciona para su uso, en el paso 224. De lo contrario, se selecciona la siguiente velocidad de datos disponible más baja para la evaluación (por ejemplo, disminuyendo la variable de velocidad en uno, o velocidad = velocidad - 1), en el paso 222. A continuación, la siguiente velocidad de datos más baja se evalúa volviendo al paso 214. Los pasos 214 a 222 pueden repetirse tantas veces como sea necesario hasta que se identifique y proporcione la velocidad de datos máxima soportada en el paso 222.

40 **[0048]** La métrica Ψ es una función monótona de velocidad de datos y aumenta al aumentar la velocidad de datos. El umbral SNR es también una función monótona que aumenta con el aumento de la velocidad de datos. El modo de realización mostrado en la FIG. 2 evalúa las velocidades de datos disponibles, de una en una, desde la velocidad de datos máxima disponible hasta la velocidad de datos mínima disponible. La velocidad de datos más alta asociada con un umbral SNR, $\text{SNR}_{\text{ésima}}(\text{velocidad})$, que es menor o igual que la métrica Ψ se selecciona para su uso.

60

[0049] En otro modo de realización, la métrica Ψ puede evaluarse para un esquema de modulación particular $M(r)$ para obtener una estimación de la SNR para el canal AWGN equivalente, $SNR_{equiv}(r)$. La velocidad de datos máxima, $D_{max}(r)$, soportada por el canal AWGN para la PER deseada en este SNR equivalente utilizando el esquema de modulación $M(r)$ se determina a continuación (por ejemplo, a través de una tabla de consulta). La velocidad de datos real que se utilizará en el sistema OFDM para el canal multitrayecto se puede seleccionar a continuación para que sea menor o igual que la velocidad de datos máxima, $D_{max}(r)$, soportada por el canal AWGN.

[0050] En un segundo esquema de selección de velocidad, la métrica Ψ se define como una SNR post-detección lograda para el canal multitrayecto mediante un único sistema de soporte después de la ecualización. La SNR post-detección es representativa de la relación entre la potencia total de la señal y el ruido más la interferencia después de la ecualización en el receptor. Los valores teóricos de la SNR post-detección lograda en el sistema de portadora única con ecualización pueden ser indicativos del rendimiento de un sistema OFDM y, por lo tanto, pueden usarse para determinar la velocidad de datos máxima soportada en el sistema OFDM. Se pueden usar diversos tipos de ecualizador para procesar la señal recibida en el sistema de una sola portadora para compensar las distorsiones en la señal recibida introducidas por el canal multitrayecto. Dichos ecualizadores pueden incluir, por ejemplo, un ecualizador lineal de error cuadrático medio mínimo (MMSE-LE), un ecualizador de realimentación de decisión (DFE) y otros.

[0051] La SNR post-detección para un MMSE-LE (de longitud infinita) se puede expresar como:

$$SNR_{mmse-le} = \frac{1 - J_{min}}{J_{min}}, \quad \text{Ec (9a)}$$

donde J_{min} viene dado por

$$J_{min} = \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \frac{N_0}{X(e^{j\omega T}) + N_0} d\omega, \quad \text{Ec (9b)}$$

donde $X(e^{j\omega T})$ es el espectro plegado de la función de transferencia de canal $H(f)$.

[0052] La SNR post-detección para un DFE (de longitud infinita) puede expresarse como:

$$SNR_{dfe} = \exp \left[\frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \ln \left(\frac{X(e^{j\omega T}) + N_0}{N_0} \right) d\omega \right] - 1. \quad \text{Ec (10)}$$

Las SNR post-detección para MMSE-LE y DFE que se muestran en las ecuaciones (9) y (10), respectivamente, representan valores teóricos. Las SNR post-detección para MMSE-LE y DFE también son descritas en mayor detalle por J.G. Proakis, en un libro titulado "Comunicaciones digitales", 3.ª edición, 1995, McGraw Hill, secciones 10-2-2 y 10-3-2, respectivamente.

[0053] Las SNR post-detección para el MMSE-LE y DFE pueden también estimarse en el receptor basándose en la señal recibida, como se describe en las solicitudes de patente de Estados Unidos n.ºs de serie 09/826,481 y 09/956,449, ambas tituladas "Procedimiento y aparato para utilizar información de estado de canal en un sistema de comunicación inalámbrica", presentadas respectivamente el 23 de marzo de 2001 y el 18 de septiembre de 2001, y la solicitud de patente de Estados Unidos n.º de serie 09/854,235, titulada "Procedimiento y aparato para procesar datos en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) utilizando información de estado de canal", presentada el 11 de mayo de 2001, todas asignadas al cesionario de la presente solicitud.

[0054] Las SNR post-detección, tales como las descritas por las expresiones analíticas mostradas en las ecuaciones (9) y (10), pueden determinarse para el canal multitrayecto y usarse como una estimación de la métrica Ψ (es decir, $\Psi \approx SNR_{mmse-le}$ o $\Psi \approx SNR_{dfe}$). La SNR post-detección (por ejemplo, $SNR_{mmse-le}$ o SNR_{dfe}) para el canal AWGN equivalente se puede comparar con el umbral SNR, SNR_{-esima} , obtenido para un conjunto particular de parámetros, $D(r)$, $M(r)$, $C(r)$, y P_e , para determinar la velocidad de datos que se puede usar en el sistema OFDM para el canal multitrayecto.

[0055] La métrica Ψ puede definirse también basándose en algunas otras funciones, y la velocidad de datos equivalente también se puede estimar basándose en algunas otras técnicas, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0056] La velocidad de datos seleccionada para uso en el sistema OFDM basándose en la métrica Ψ representa una

predicción de la velocidad de datos que puede ser soportada por el canal multitrayecto para la PER deseada de P_e . Al igual que con cualquier esquema de predicción de velocidades, inevitablemente habrá errores de predicción. Con el fin de asegurar que se pueda lograr la PER deseada, los errores de predicción pueden estimarse y puede usarse un factor de desconexión para determinar la velocidad de datos que puede ser soportada por el canal multitrayecto. Esta desconexión reduce el rendimiento del sistema OFDM. Por lo tanto, es deseable mantener esta desconexión tan pequeña como sea posible sin dejar de lograr la PER deseada.

[0057] De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un esquema de transmisión incremental (IT) y se puede utilizar ventajosamente en conjunción con la selección de velocidad del primer aspecto para reducir la cantidad de desconexión y para mejorar el rendimiento del sistema. El esquema de IT transmite un paquete dado usando una o más transmisiones discretas, una transmisión cada vez y hasta un límite particular. La primera transmisión para el paquete incluye una cantidad de datos suficiente para que el paquete pueda recuperarse sin errores en el receptor basándose en las condiciones de canal esperadas. Sin embargo, si la primera transmisión es degradada excesivamente por el canal de comunicación de manera que no se logra la recuperación sin errores del paquete, entonces se realiza una transmisión incremental de una cantidad adicional de datos para el paquete. A continuación, el receptor intenta recuperar el paquete basándose en los datos adicionales en la transmisión incremental y en todos los datos recibidos previamente para el paquete. La transmisión incremental mediante el transmisor y la descodificación mediante el receptor pueden intentarse una o más veces, hasta que el paquete se recupere sin errores o se alcance el número máximo de transmisiones incrementales.

[0058] Un modo de realización del esquema de IT puede implementarse de la forma siguiente. En primer lugar, los datos para un paquete se codifican usando una velocidad de codificación más baja (para un código de corrección de error directo) que la velocidad de codificación que se puede usar para el paquete sin ninguna transmisión incremental. A continuación, se borran algunos de los bits codificados para el paquete y solo se transmite un subconjunto de todos los bits codificados para la primera transmisión del paquete. Si el paquete se recibe correctamente, el receptor puede devolver una confirmación (ACK) indicando que el paquete se recibió sin errores. De forma alternativa, el receptor puede enviar una confirmación negativa (NACK) si recibe el paquete por error.

[0059] En cualquier caso, si la confirmación no es recibida por el transmisor para el paquete o se recibe una confirmación negativa, a continuación, el transmisor envía un paquete incremental al receptor. Este paquete incremental puede incluir algunos de los bits codificados borrados originales que no se enviaron en la primera transmisión. A continuación, el receptor intenta descodificar el paquete utilizando los bits codificados enviados tanto en la primera transmisión como en la segunda transmisión. Los bits codificados adicionales de la segunda transmisión proporcionan más energía y mejoran la capacidad de corrección de errores. Se pueden realizar una o más transmisiones incrementales, típicamente de una en una, hasta que se reciba la confirmación o no se reciba la confirmación negativa.

[0060] Si el sistema emplea la transmisión incremental, entonces puede utilizarse una desconexión más pequeña para tener en cuenta los errores de predicción de velocidad y pueden realizarse selecciones de velocidad más agresivas. Esto puede dar como resultado un mejor rendimiento del sistema.

[0061] La transmisión incremental en la combinación con la selección de velocidad descrita anteriormente también proporciona un mecanismo eficiente para la determinación de la velocidad de datos máxima soportada por canales de comunicación fijos o de variación lenta. Considere una aplicación de acceso fijo donde el perfil multitrayecto del canal cambia lentamente. En este caso, puede seleccionarse una velocidad de datos inicial basándose en las técnicas descritas anteriormente y utilizarse para la transmisión de datos. Si la velocidad de datos inicial es más alta de lo que el canal puede soportar, entonces el esquema de IT puede transmitir bits codificados adicionales hasta que el paquete pueda descodificarse correctamente en el receptor. La velocidad de datos máxima que el canal puede soportar puede entonces determinarse basándose en el número total de bits codificados enviados en la primera transmisión y cualquier transmisión incremental posterior. Si el canal cambia lentamente, entonces la velocidad de datos determinada se puede usar hasta que el canal cambie, momento en el que se puede determinar una nueva velocidad de datos.

[0062] La transmisión incremental de este modo proporciona numerosas ventajas. En primer lugar, el uso de transmisión incremental permite una selección de velocidad de datos agresiva para aumentar el rendimiento del sistema. En segundo lugar, la transmisión incremental proporciona un medio para remediar los errores de predicción que inevitablemente surgen para cualquier esquema de predicción de velocidad (dependiendo de la frecuencia y magnitud de los errores de predicción de la cantidad de desconexión empleada). Y tercero, la transmisión incremental proporciona un mecanismo para determinar con mayor precisión la velocidad de datos máxima soportada para canales fijos o de variación lenta.

[0063] La FIG. 3 es un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema transmisor 110a y un sistema receptor 150a, que son capaces de implementar diversos aspectos y modos de realización de la invención.

[0064] En el sistema transmisor 110a, se proporcionan datos de tráfico a una velocidad de datos particular desde una fuente de datos 308 a un procesador de datos de transmisión (TX) 310, que formatea, intercala, y codifica los

datos de tráfico basándose en un esquema de codificación particular para proporcionar datos codificados. La velocidad y la codificación de los datos puede determinarse mediante un control de velocidad de datos y un control de codificación, respectivamente, proporcionados por un controlador 330.

5 **[0065]** A continuación, los datos codificados se proporcionan a un modulador 320, que también puede recibir datos piloto (por ejemplo, datos de un patrón conocido y procesados de una manera conocida, si los son de alguna manera). Los datos piloto pueden multiplexarse con los datos de tráfico codificados, por ejemplo, usando multiplexación por división de tiempo (TDM) o multiplexación por división de código (CDM), en todos o un subconjunto de los subcanales de frecuencia usados para transmitir los datos de tráfico. En un modo de realización específico, para OFDM, el procesamiento mediante el modulador 320 incluye (1) modular los datos recibidos con uno o más esquemas de modulación, (2) transformar los datos modulados para formar símbolos OFDM, y (3) agregar un prefijo cíclico a cada símbolo OFDM para formar un símbolo de transmisión correspondiente. La modulación se realiza basándose en un control de modulación proporcionado por el controlador 330. A continuación, los datos modulados (es decir, los símbolos de transmisión) se proporcionan a un transmisor (TMTR) 322.

15 **[0066]** El transmisor 322 convierte los datos modulados en una o más señales analógicas y además acondiciona (por ejemplo, amplifica, filtra y modula en cuadratura) las señales analógicas para generar una señal modulada adecuada para su transmisión por el canal de comunicación. A continuación, la señal modulada se transmite a través de una antena 324 al sistema receptor.

20 **[0067]** En el sistema receptor 150a, la señal modulada transmitida es recibida por una antena 352 y proporcionada a un receptor (RCVR) 354. El receptor 354 acondiciona (por ejemplo, filtra, amplifica y reduce la frecuencia) la señal recibida y digitaliza la señal acondicionada para obtener muestras de datos. A continuación, un desmodulador (Desmod) 360 procesa las muestras de datos para proporcionar datos desmodulados. Para OFDM, el procesamiento mediante el desmodulador 360 puede incluir (1) eliminar el prefijo cíclico previamente anexado a cada símbolo OFDM, (2) transformar cada símbolo OFDM recuperado, y (3) desmodular los símbolos de modulación recuperados de acuerdo con uno o más esquemas de desmodulación complementarios al uno o más esquemas de modulación utilizados en el sistema transmisor.

25 **[0068]** A continuación, un procesador de datos de recepción (RX) 362, descodifica los datos desmodulados para recuperar los datos de tráfico transmitidos. El procesamiento mediante el desmodulador 360 y el procesador de datos RX 362 es complementario al realizado por el modulador 320 y el procesador de datos TX 310, respectivamente, en el sistema transmisor 110a.

30 **[0069]** Como se muestra en la FIG. 3, el desmodulador 360 puede obtener estimaciones de la respuesta del canal, $H(k)$, y proporcionar estas estimaciones a un controlador 370. El procesador de datos RX 362 también puede obtener y proporcionar el estado de cada paquete recibido y además puede proporcionar una o más métricas de rendimiento adicionales indicativas de los resultados descodificados. Basándose en los diversos tipos de información recibida desde el desmodulador 360 y el procesador de datos RX 362, el controlador 370 puede determinar o seleccionar una velocidad particular para la transmisión de datos basándose en las técnicas descritas anteriormente. La información de realimentación en forma de una velocidad seleccionada, las estimaciones de respuesta del canal, ACK / NACK para el paquete de recepción, etc., pueden ser proporcionadas por el controlador 370, procesadas por un procesador de datos TX 378, moduladas por un modulador 380 y acondicionadas y transmitidas por un transmisor 354 de vuelta al sistema transmisor 110a.

35 **[0070]** En el sistema transmisor 110a, la señal modulada del sistema receptor 150a se recibe mediante la antena 324, se acondiciona mediante un receptor 322 y se desmodula mediante un desmodulador 340 para recuperar la información de realimentación transmitida por el sistema receptor. A continuación, la información de realimentación se proporciona al controlador 330 y se usa para controlar el procesamiento de la transmisión de datos al sistema receptor. Por ejemplo, la velocidad de datos de la transmisión de datos puede determinarse basándose en la velocidad seleccionada proporcionada por el sistema receptor, o puede determinarse basándose en las estimaciones de respuesta del canal del sistema receptor. Los esquemas de codificación y modulación específicos asociados con la velocidad seleccionada se determinan y reflejan en el control de codificación y modulación proporcionado al procesador de datos TX 310 y al modulador 320. La ACK / NACK recibida puede usarse para iniciar una transmisión incremental (no mostrada en la FIG. 3, para simplificar).

40 **[0071]** Los controladores 330 y 370 dirigen el funcionamiento en los sistemas transmisor y receptor, respectivamente. Las memorias 332 y 372 proporcionan almacenamiento para los datos y códigos de programa usados por los controladores 330 y 370, respectivamente.

45 **[0072]** La FIG. 4 es un diagrama de bloques de una unidad de transmisor 400, que es un modo de realización de la parte transmisora del sistema transmisor 110a. La unidad de transmisor 400 incluye (1) un procesador de datos TX 310a que recibe y procesa datos de tráfico para proporcionar datos codificados y (2) un modulador 320a que modula los datos codificados en datos modulados proporcionados. El procesador de datos TX 310a y el modulador 320a son un modo de realización del procesador de datos TX 310 y el modulador 320, respectivamente, en la FIG. 3.

[0073] En el modo de realización específico mostrado en la FIG. 4, el procesador de datos TX 310a incluye un codificador 412, un intercalador de canales 414 y un borrador 416. El codificador 412 recibe y codifica los datos de tráfico de acuerdo con uno o más esquemas de codificación para proporcionar bits codificados. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. Cada esquema de codificación puede incluir cualquier combinación de codificación CRC, codificación convolucional, codificación Turbo, codificación por bloques, y otra codificación, o ninguna codificación en absoluto. Los datos de tráfico pueden dividirse en paquetes (o tramas), y cada paquete puede procesarse y transmitirse individualmente. En un modo de realización, para cada paquete, los datos en el paquete se usan para generar un conjunto de bits CRC, que se anexa a los datos, y los datos y los bits CRC se codifican a continuación con un código convolucional o un código Turbo para generar los datos codificados para el paquete.

[0074] A continuación, el intercalador de canales 414 intercala los bits codificados basándose en un esquema de intercalado particular para proporcionar diversidad. El intercalado proporciona diversidad de tiempo para los bits codificados, permite que los datos se transmitan basándose en una SNR media para los subcanales de frecuencia usados para la transmisión de datos, combate la atenuación y elimina además la correlación entre los bits codificados utilizados para formar cada símbolo de modulación. El intercalado puede proporcionar además diversidad de frecuencia si los bits codificados se transmiten por múltiples subcanales de frecuencia.

[0075] A continuación, el borrador 416 borra (es decir, elimina) cero o más de los bits codificados intercalados y proporciona el número requerido de bits codificados no borrados al modulador 320a. El borrador 416 puede proporcionar además los bits codificados borrados a una memoria intermedia 418, que almacena estos bits codificados en caso de que sean necesarios para una transmisión incremental en un momento posterior, como se describió anteriormente.

[0076] En el modo de realización específico mostrado en la FIG. 4, el modulador 320a incluye un elemento de asignación de símbolos 422, un IFFT 424 y un generador de prefijos cíclicos 426. El elemento de asignación de símbolos 422 asigna los datos piloto multiplexados y los datos de tráfico codificados a símbolos de modulación para uno o más subcanales de frecuencia usados para la transmisión de datos. Se pueden usar uno o más esquemas de modulación para los subcanales de frecuencia, como se indica mediante el control de modulación. Para cada esquema de modulación seleccionado para su uso, la modulación puede lograrse agrupando conjuntos de bits recibidos para formar símbolos de múltiples bits y asignando cada símbolo de múltiples bits a un punto en una constelación de señales correspondiente al esquema de modulación seleccionado (por ejemplo, QPSK, M-PSK, M-QAM, o algún otro esquema). Cada punto de señal asignado corresponde a un símbolo de modulación. A continuación, el elemento de asignación de símbolos 422 proporciona un vector de (hasta N_F) símbolos de modulación para cada período de símbolo de transmisión, con el número de símbolos de modulación en cada vector correspondiente al número de subcanales de frecuencia (hasta N_F) seleccionados para el uso para ese período de símbolo de transmisión.

[0077] El IFFT 424 convierte cada vector de símbolos de modulación en su representación de dominio temporal (que se denomina símbolo OFDM) usando la transformada de Fourier rápida inversa. El IFFT 424 puede diseñarse para realizar la transformada inversa en cualquier número de subcanales de frecuencia (por ejemplo, 8, 16, 32, ... , N_F , ...). En un modo de realización, para cada símbolo OFDM, el generador de prefijos cíclicos 426 repite una parte del símbolo OFDM para formar un símbolo de transmisión correspondiente. El prefijo cíclico garantiza que el símbolo de transmisión retiene sus propiedades ortogonales en presencia de la dispersión de retardo de multitrayecto, mejorando así el rendimiento frente a los efectos nocivos de trayecto. A continuación, los símbolos de transmisión del generador de prefijos cíclicos 426 se proporcionan al transmisor 322 (véase la FIG. 3) y se procesan para generar una señal modulada, que a continuación se transmite desde la antena 324.

[0078] Otros diseños para la unidad de transmisor también pueden implementarse y están dentro del alcance de la invención. La implementación del codificador 412, el intercalador de canales 414, el borrador 416, el elemento de asignación de símbolos 422, el IFFT 424 y el generador de prefijos cíclicos 426 es conocida en la técnica y no se describe en detalle en el presente documento.

[0079] La codificación y modulación para OFDM y otros sistemas se describen en mayor detalle en las solicitudes de patente de Estados Unidos anteriormente mencionadas n.ºs de serie 09/826,481, 09/956,449, y 09/854,235, la solicitud de patente de Estados Unidos n.º de serie 09/776,075, titulada "Coding Scheme for a Wireless Communication System" (Esquema de codificación para un sistema de comunicación inalámbrica), presentada el 1 de febrero de 2001, y la solicitud de patente de Estados Unidos titulada "Multiple- Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System" (Sistema de comunicación de múltiples accesos de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)), presentada el 6 de noviembre de 2001, todas asignadas al cesionario la presente solicitud.

[0080] Un ejemplo de sistema OFDM se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos n.º de serie 09/532,492, titulada "High Efficiency, High Performance Communication System Employing Multi-Carrier Modulation" (Sistema de comunicación de alta eficiencia y alto rendimiento que emplea modulación de múltiples portadoras), presentada el 30 de marzo de 2000, cedida al cesionario de la presente invención. OFDM también se describe en un

documento titulado "Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come" (Modulación de múltiples portadoras para transmisión de datos: Una idea para la cual ya ha llegado la hora), de John A.C. Bingham, IEEE Communications Magazine, mayo de 1990.

5 **[0081]** La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad de receptor 500, que es un modo de realización de la parte receptora del sistema receptor 150a de la FIG. 3. La señal transmitida desde el sistema transmisor es recibida por la antena 352 (FIG. 3) y se proporciona al receptor 354 (que también se puede denominar procesador de interfaz de usuario). El receptor 354 acondiciona (por ejemplo, filtra y amplifica) la señal recibida, reduce la frecuencia de la señal acondicionada a una frecuencia intermedia o banda de base, y digitaliza la
10 señal con frecuencia reducida para proporcionar muestras de datos, que a continuación se proporcionan a un desmodulador 360a.

[0082] Dentro del desmodulador 360a (FIG. 5), las muestras de datos se proporcionan a un elemento de eliminación de prefijo cíclico 510, que elimina el prefijo cíclico incluido en cada símbolo de transmisión para proporcionar un símbolo OFDM recuperado correspondiente. A continuación, una FFT 512 transforma cada símbolo OFDM recuperado utilizando la transformada rápida de Fourier y proporciona un vector de (hasta N_F) símbolos de modulación recuperados para los subcanales de frecuencia (hasta N_F) utilizados para la transmisión de datos para cada período de símbolo de transmisión. Los símbolos de modulación recuperados de FFT 512 se proporcionan a un elemento de desmodulación 514 y se desmodulan de acuerdo con uno o más esquemas de desmodulación que son complementarios a uno o más esquemas de modulación utilizados en el sistema transmisor. A continuación, los datos desmodulados del elemento de desmodulación 514 se proporcionan a un procesador de datos RX 362a.
15

[0083] Dentro del procesador de datos RX 362a, los datos desmodulados son desintercalados por un desintercalador 522 de manera complementaria a la realizada en el sistema transmisor, y los datos de desintercalados se descodifican adicionalmente mediante un descodificador 524 de una manera complementaria a la realizada en el sistema transmisor. Por ejemplo, se puede utilizar un descodificador Turbo o un descodificador de Viterbi para el descodificador 524 si en la unidad de transmisor se realiza la codificación Turbo o convolucional, respectivamente. Los datos descodificados del descodificador 524 representan una estimación de los datos transmitidos. El descodificador 524 puede proporcionar el estado de cada paquete recibido (por ejemplo, recibido correctamente o por error). El descodificador 524 puede almacenar adicionalmente los datos desmodulados para paquetes no descodificados correctamente, de manera que estos datos puedan combinarse con datos de una transmisión incremental posterior y descodificarse.
20

[0084] Como se muestra en la FIG. 5, un estimador de canal 516 puede diseñarse para estimar la respuesta de frecuencia del canal, $\hat{H}(k)$, y la varianza de ruido, \hat{N}_0 , y para proporcionar estas estimaciones al controlador 370. La respuesta del canal y la varianza de ruido pueden estimarse basándose en las muestras de datos recibidos para los símbolos piloto (por ejemplo, basándose en los coeficientes FFT de FFT 512 para los símbolos piloto).
25

[0085] El controlador 370 puede diseñarse para implementar diversos aspectos y modos de realización de la selección de velocidad y la señalización para la transmisión incremental. Para la selección de velocidad, el controlador 370 puede determinar la velocidad de datos máxima que se puede usar para las condiciones de canal dadas basándose en la métrica Ψ , como se describió anteriormente. Para transmisión incremental, el controlador 370 puede proporcionar una ACK o una NACK para cada transmisión recibida para un paquete dado, que puede usarse en el sistema transmisor para transmitir una parte adicional del paquete si el paquete no puede recuperarse correctamente en el sistema receptor.
30

[0086] Las FIGs. 1A y 3 muestran un diseño simple mediante el cual el receptor devuelve la velocidad para la transmisión de datos. También pueden implementarse otros diseños y están dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, las estimaciones de canal pueden enviarse al transmisor (en lugar de la velocidad), que a continuación puede determinar la velocidad para la transmisión de datos basándose en las estimaciones de canal recibidas.
35

[0087] Las técnicas de selección de velocidad y transmisión incremental descritas en el presente documento pueden implementarse utilizando varios diseños. Por ejemplo, el estimador de canal 516 de la FIG. 5 utilizado para obtener y proporcionar las estimaciones del canal puede implementarse mediante varios elementos en el sistema receptor. Parte o todo el procesamiento para determinar la velocidad puede ser realizado por el controlador 370 (por ejemplo, con una o más tablas de búsqueda almacenadas en la memoria 372). También se pueden contemplar otros diseños para realizar la selección de velocidad y la transmisión incremental y están dentro del alcance de la invención.
40

[0088] Las técnicas de selección de velocidad y transmisión incremental descritas en el presente documento pueden implementarse por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, software o una combinación de ambos. Para una implementación de hardware, algunos de los elementos utilizados para implementar la selección de velocidad y/o la transmisión incremental pueden implementarse dentro de uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores digitales de señales (DSP), dispositivos de procesamiento digital de señales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables sobre el terreno (FPGA), procesadores, controladores, micro-controladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación
45

de los mismos.

5 **[0089]** Para una implementación en software, algunas partes de la selección de velocidad y/o la transmisión incremental pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que lleven a cabo las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, la memoria 332 o 372 en la FIG. 3) y ser ejecutados por un procesador (por ejemplo, el controlador 330 o 370). La unidad de memoria puede implementarse en el procesador o de manera externa al procesador, en cuyo caso puede acoplarse de manera comunicativa al procesador a través de diversos medios, como se conoce en la técnica.

10 **[0090]** La anterior descripción de los modos de realización divulgados se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la presente invención. Varias modificaciones de estos modos de realización serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para determinar una velocidad de datos para una transmisión de datos por un canal de comunicación en un sistema de comunicación inalámbrica, que comprende:
 - 5 identificar un conjunto de parámetros indicativos de una velocidad de datos particular para la transmisión de datos;
 - estimar una o más características del canal de comunicación;
 - 10 obtener una métrica para un canal equivalente basándose en el conjunto de parámetros y la una o más características de canal estimadas;
 - determinar una calidad de señal umbral requerida para que el canal equivalente soporte la velocidad de datos particular; e
 - 15 indicar si la velocidad de datos particular es soportada por el canal de comunicación basándose en la métrica y la calidad de la señal umbral o no.
- 20 2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el conjunto de parámetros incluye un esquema de codificación particular y un esquema de modulación particular a usar para la transmisión de datos.
3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la una o más características de canal estimadas incluyen una respuesta de frecuencia estimada del canal de comunicación y una varianza de ruido estimada del canal de comunicación.
- 25 4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el canal equivalente tiene una respuesta de frecuencia plana a través de un ancho de banda del sistema.
- 30 5. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que obtener la métrica incluye determinar una velocidad de datos equivalente para el canal equivalente basándose en una primera función, el conjunto de parámetros y la una o más características de canal estimadas, y en el que la métrica se obtiene basándose en un segunda función, la velocidad de datos equivalente y el esquema de modulación particular.
- 35 6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que la primera función es una función de capacidad de canal restringida.
7. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que la segunda función es inversa a la primera función.
- 40 8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la calidad de la señal se cuantifica mediante una relación de señal a ruido e interferencia, SNR.
9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que la obtención de la métrica incluye estimar una SNR post-detección para el canal de comunicación basándose en un ecualizador particular, y en el que la calidad de señal estimada para el canal equivalente es la SNR post-detección estimada
- 45 10. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que se usa un único esquema de modulación para todos los subcanales de frecuencia usados para la transmisión de datos.
- 50 11. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que se usa una pluralidad de esquemas de modulación para una pluralidad de subcanales de frecuencia usados para la transmisión de datos.
12. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el sistema de comunicación inalámbrica es un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal, OFDM.
- 55 13. El procedimiento según la reivindicación 8, que comprende además el paso de:
 - indicar la velocidad particular como soportada por el canal de comunicación si la métrica es mayor que o igual al umbral SNR.
- 60 14. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que la primera función es la función de capacidad del canal Shannon.
- 65 15. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la velocidad particular se selecciona entre un conjunto de velocidades disponibles, y en el que cada una de una o más velocidades disponibles se evalúa para determinar una velocidad de datos más alta soportada por el canal de comunicación.

16. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que el ecualizador particular es un ecualizador lineal de error cuadrático medio mínimo MMSE-LE o un ecualizador de realimentación de decisión, DFE.
- 5 17. Un procedimiento para transmitir datos por un canal de comunicación en un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal, OFDM, que comprende:
- 10 identificar una velocidad inicial a usar para una transmisión de datos por el canal de comunicación mediante el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16;
- procesar los datos para la transmisión por el canal de comunicación basándose en la velocidad inicial;
- transmitir una primera parte de los datos procesados;
- 15 recibir una indicación de recepción incorrecta de la transmisión de datos; y
- transmitir una parte adicional de los datos procesados.
- 20 18. El procedimiento según la reivindicación 17, en el que el procesamiento incluye
- codificar los datos de acuerdo con el esquema de codificación particular;
- borrar los datos codificados de acuerdo con un esquema de borrado particular; y
- 25 modular los datos codificados no borrados de acuerdo con el esquema de modulación particular.
19. El procedimiento según la reivindicación 18, en el que la primera parte comprende los datos codificados no borrados y la parte adicional comprende los datos codificados previamente borrados y aún no transmitidos.
- 30 20. El procedimiento según la reivindicación 17 que comprende además:
- repetir la transmisión de una parte adicional, una o más veces, hasta que se reciba una indicación de recepción correcta de la transmisión de datos.
- 35 21. El procedimiento según la reivindicación 17, en el que cada parte adicional a transmitir en respuesta a recibir la indicación de recepción incorrecta comprende datos procesados no transmitidos previamente.
22. Un aparato para un sistema de comunicación inalámbrica, que comprende:
- 40 medios para obtener estimaciones de una o más características de un canal de comunicación utilizado para una transmisión de datos;
- medios para obtener una métrica para un canal equivalente basándose en las estimaciones del canal y un conjunto de parámetros indicativos de una velocidad particular para la transmisión de datos;
- 45 medios para determinar una calidad de señal umbral requerida para que el canal equivalente soporte la velocidad particular; y
- medios para indicar si la velocidad particular es soportada por el canal de comunicación basándose en la métrica y la calidad de la señal umbral o no.
- 50 23. El aparato según la reivindicación 22, que comprende además:
- medios para determinar una velocidad de datos equivalente para el canal equivalente basándose en una primera función, el conjunto de parámetros y las estimaciones del canal, y
- 55 en el que la métrica se obtiene basándose en una segunda función, la velocidad de datos equivalente, y
- un esquema de modulación particular asociado con la velocidad particular.
- 60 24. El aparato según la reivindicación 23, que comprende además: medios para almacenar una o más tablas para la primera función.
25. El aparato según la reivindicación 22, en el que el aparato comprende una unidad de receptor (150); y en el que los medios para obtener estimaciones comprenden un estimador de canal (516); y
- 65

los medios para obtener una métrica, los medios para determinar una calidad de señal umbral y los medios para indicar comprenden un selector de velocidad.

- 5 **26.** El aparato según la reivindicación 25, que comprende además:
- un decodificador (524) operativo para proporcionar un estado de cada transmisión recibida para un paquete particular de datos; y
- 10 un controlador (370) operativo para proporcionar información de realimentación que comprende la velocidad particular y una indicación del estado del paquete.
- 27.** El aparato según la reivindicación 23, en el que la primera función es una función de capacidad de canal restringida.
- 15 **28.** El aparato según la reivindicación 24, en el que el medio para el almacenamiento comprende una memoria (372).
- 29.** El aparato según la reivindicación 22, que comprende además:
- 20 medios para identificar una velocidad inicial a usar para una transmisión de datos por un canal de comunicación, en el que la velocidad inicial es indicativa de la velocidad de datos particular, un esquema de modulación particular y un esquema de codificación particular para ser utilizado para la transmisión de datos
- 25 medios para codificar datos de acuerdo con el esquema de codificación particular;
- medios para modular una primera parte de los datos codificados de acuerdo con el esquema de modulación particular;
- 30 medios para recibir una indicación de recepción correcta o incorrecta de la transmisión de datos en un receptor;
- medios para modular una parte adicional de los datos codificados si se recibe la indicación de recepción incorrecta de la transmisión de datos; y
- 35 medios para transmitir los datos modulados.
- 30.** El aparato según la reivindicación 29, en el que el aparato comprende una unidad de transmisor (110) y en el que
- 40 los medios para identificar y los medios para recibir comprenden un controlador (330);
- los medios para codificar comprenden un procesador de datos de transmisión (310),
- 45 los medios para modular comprenden un modulador (320); y
- los medios para transmitir comprenden un transmisor (322).
- 50 **31.** El aparato según la reivindicación 30, en el que el procesador de datos de transmisión (310) funciona además para borrar los datos codificados de acuerdo con un esquema de borrado particular, y en el que la primera parte comprende los datos codificados no borrados y la parte adicional comprende los datos codificados previamente borrados y aún no transmitidos.

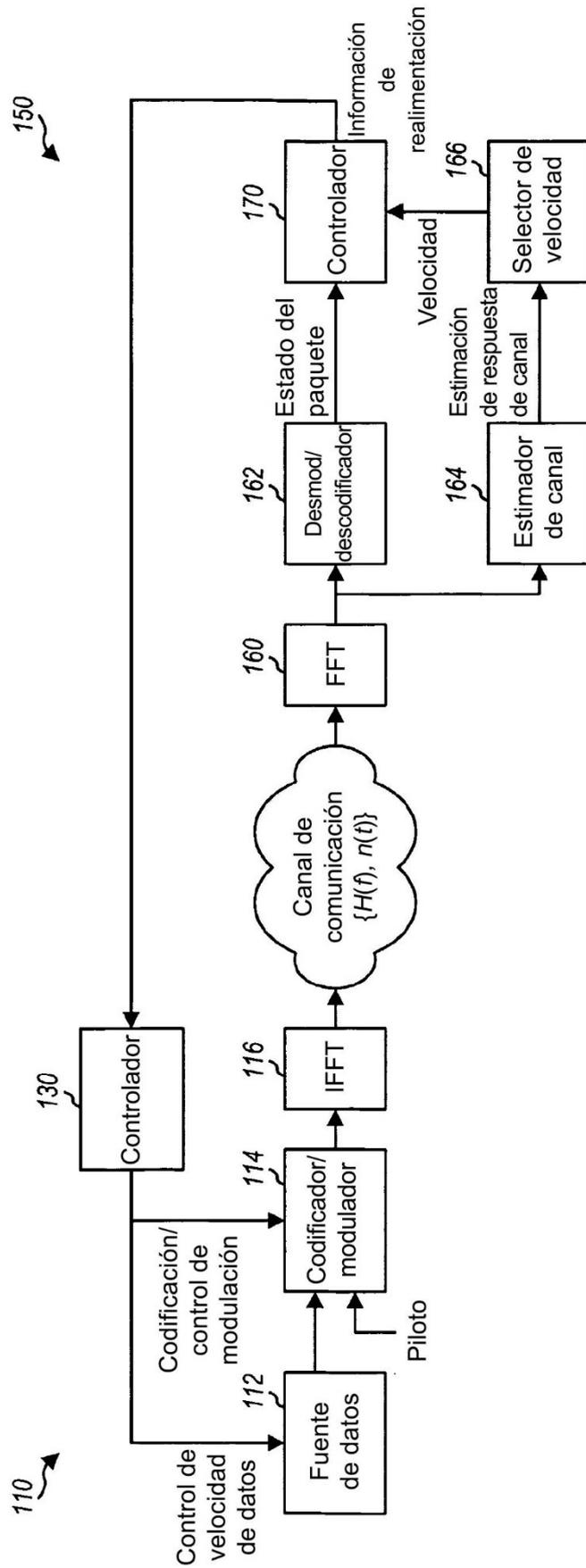
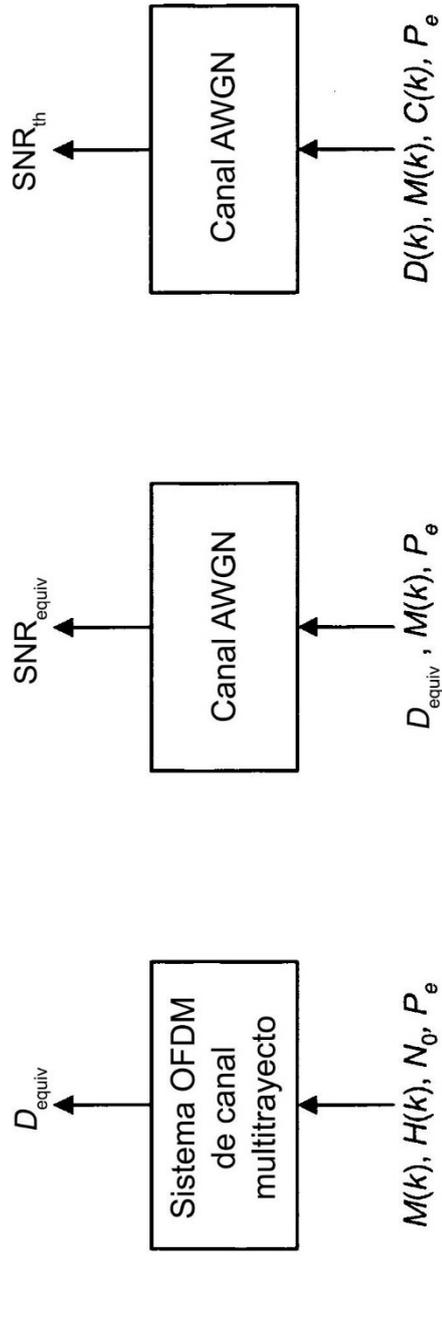


FIG. 1A



$$D_{equiv} = f[x], x = \{H(k), N_0, M(k)\}$$

$$SNR_{equiv} = g[D_{equiv}, M(k)]$$

FIG. 1B

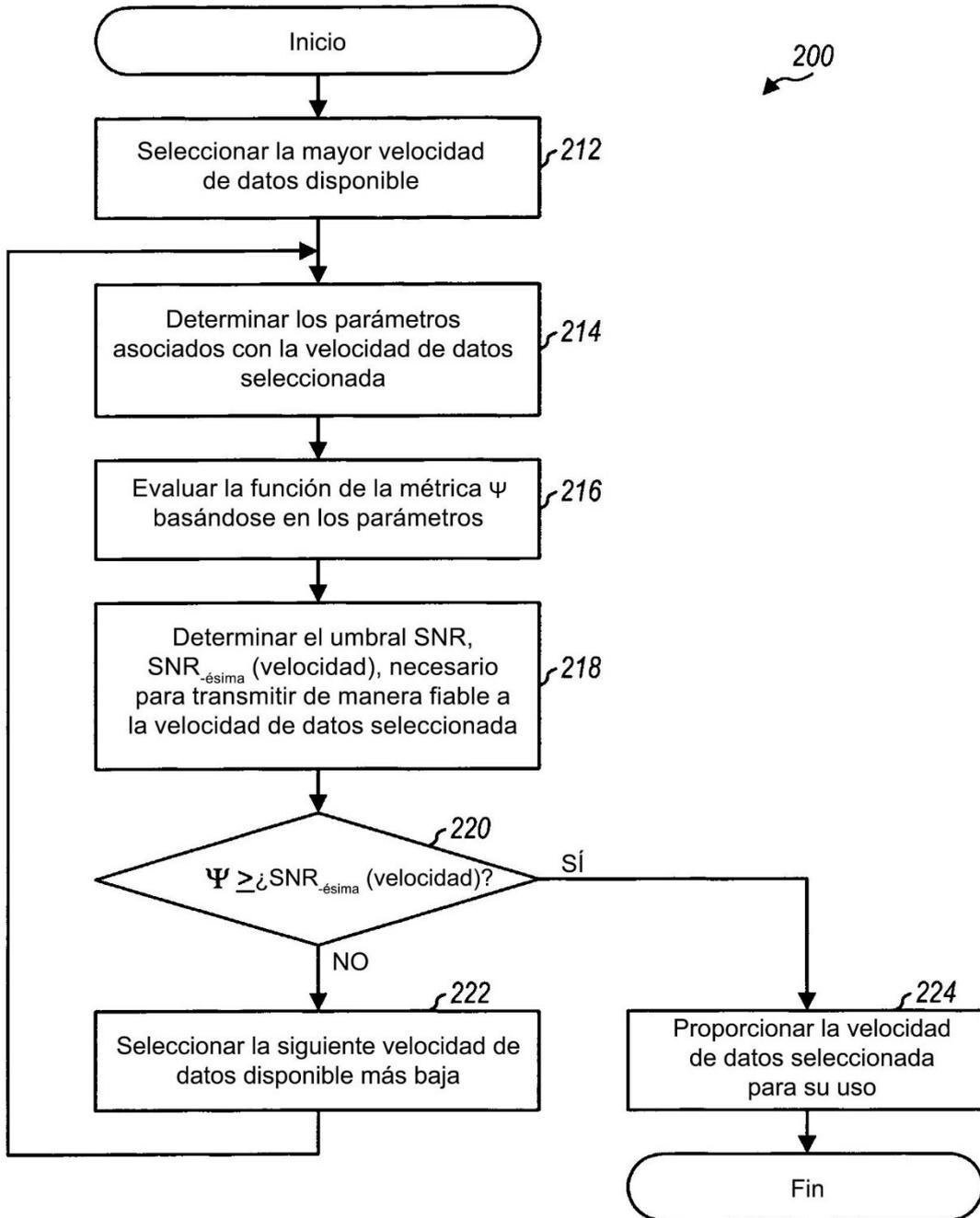


FIG. 2

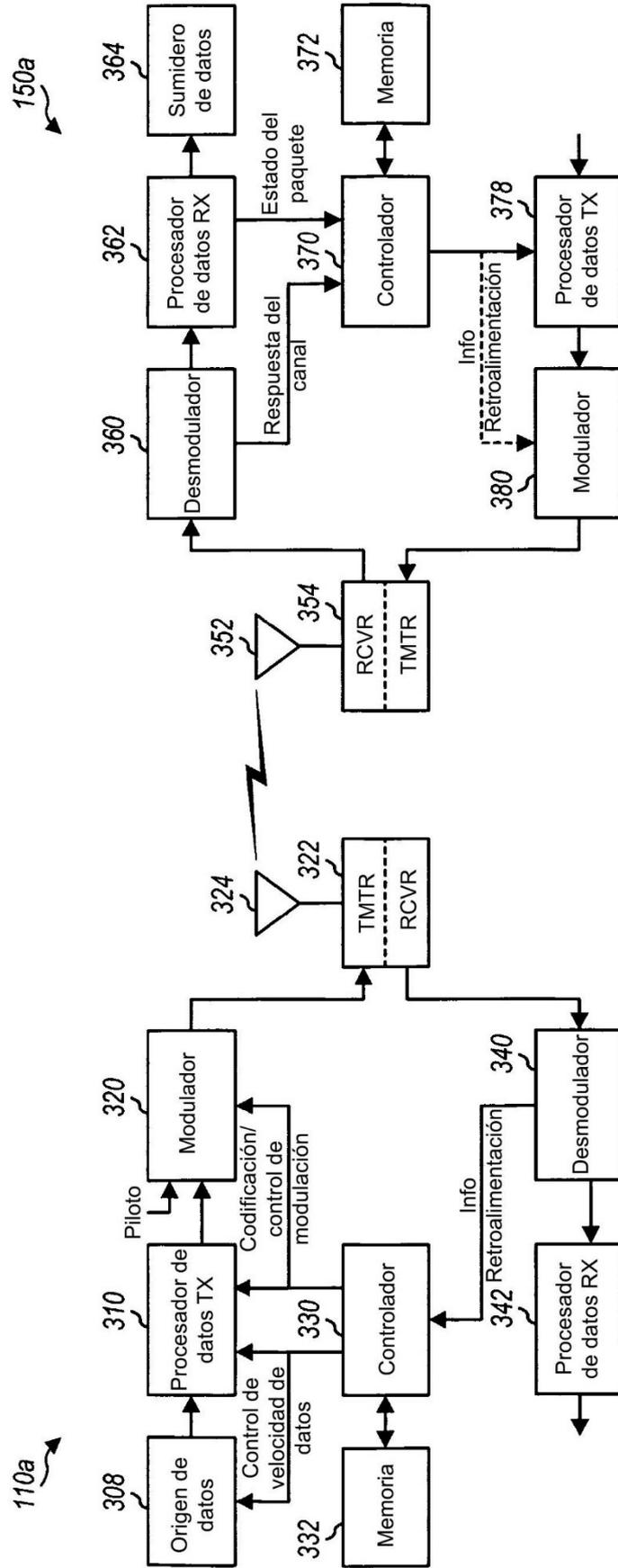


FIG. 3

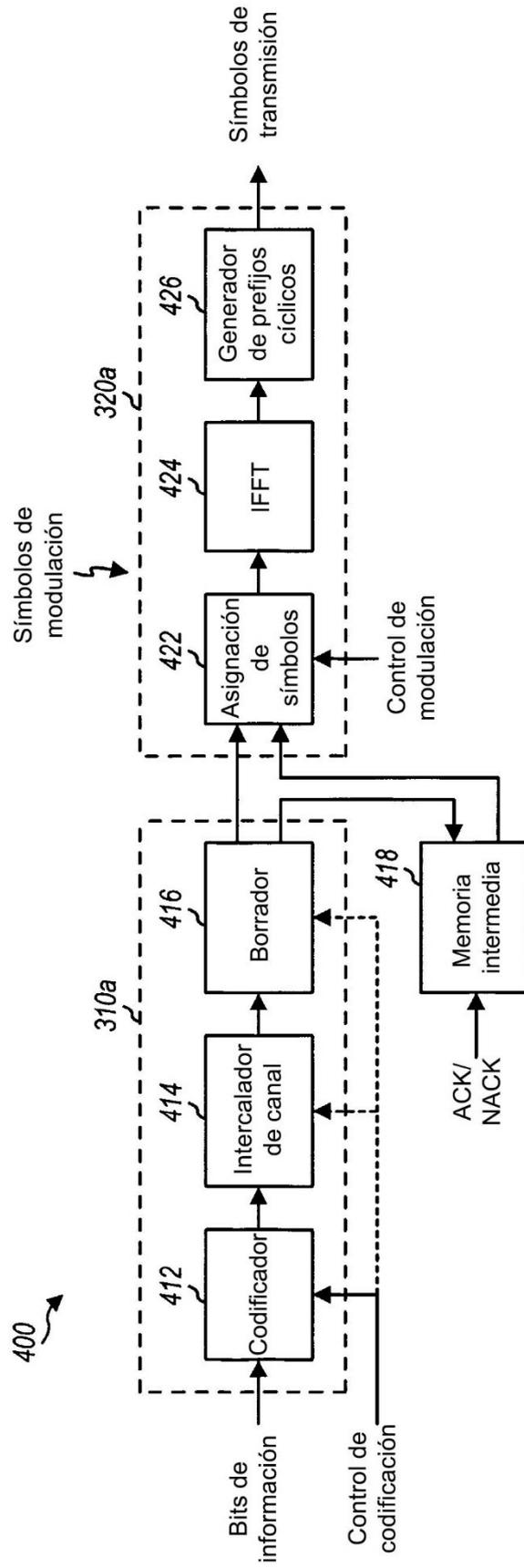


FIG. 4

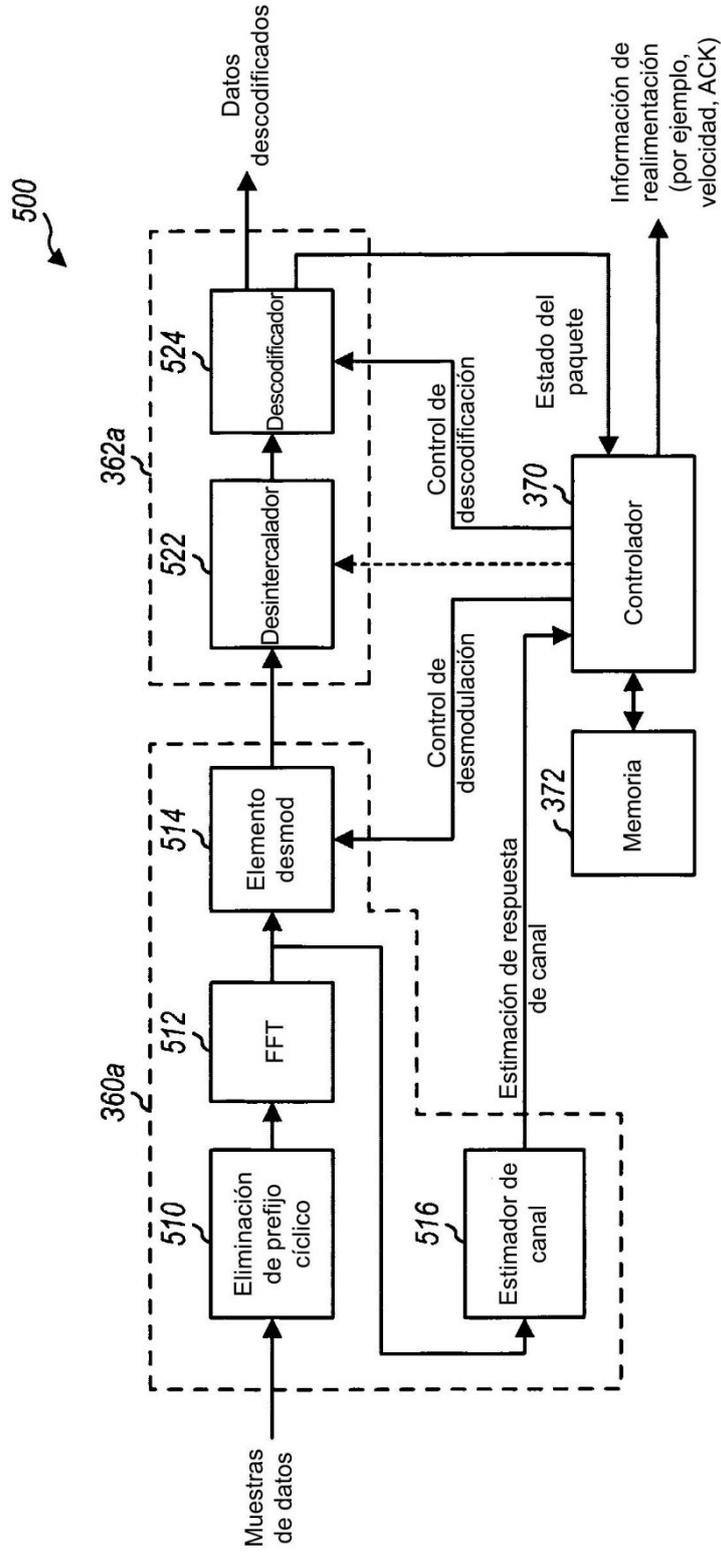


FIG. 5