

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 450 425**

51 Int. Cl.:

**H04L 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2010 E 10784799 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2507928**

54 Título: **Procedimiento de calibración de umbrales y módulo de calibración de umbrales para sistema de telecomunicaciones por satélite**

30 Prioridad:

**30.11.2009 FR 0958475**

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

**24.03.2014**

73 Titular/es:

**ASTRIUM SAS (100.0%)  
12 rue Pasteur  
92150 Suresnes, FR**

72 Inventor/es:

**GIRAULT, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 450 425 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

Procedimiento de calibración de umbrales y módulo de calibración de umbrales para sistema de telecomunicaciones por satélite

5 La presente invención pertenece al campo de las telecomunicaciones y se refiere a los sistemas de telecomunicaciones por satélite que permiten transmitir datos según una pluralidad de formatos de transmisión.

Más en particular, la presente invención se refiere a un procedimiento de calibración de umbral de selección de un formato de transmisión de datos, así como a un módulo de calibración de umbral para esta selección.

10 Por "formato de transmisión" se entiende un conjunto de parámetros que determinan la conformación de los datos transmitidos en un canal de propagación por radiofrecuencia, llamado "canal", entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite, por ejemplo un canal entre un satélite y un terminal terrestre.

Dichos parámetros generalmente son un tipo de modulación y una velocidad de codificación de canal, correspondiendo generalmente cada formato de transmisión a una velocidad particular de transferencia de datos.

15 A título de ejemplo, las especificaciones del estándar DVB-S2 ("Digital Video Broadcast - Satellite - Second Generation") prevén cuatro tipos diferentes de modulación (QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK) y once velocidades de codificación diferentes (de 1/4 a 9/10), que generan veintiocho diferentes formatos de transmisión.

20 El interés de disponer de varios posibles formatos de transmisión radica principalmente en la posibilidad de adaptar el formato de transmisión a la calidad instantánea del canal de cada terminal terrestre. Por "calidad instantánea del canal" se entiende la calidad del canal tal como es percibida a la escala de la duración de un paquete de datos (del orden del milisegundo en el caso de un sistema de telecomunicaciones por satélite DVB-S2).

Para un terminal terrestre cuyo canal es de buena calidad, se le podrá asignar un formato de transmisión correspondiente a una elevada velocidad de transferencia de datos, en tanto que para un terminal terrestre cuyo canal es de mala calidad, se le asignará un formato de transmisión correspondiente a una menor velocidad de transferencia de datos.

25 Generalmente, la selección de un formato de transmisión se lleva a cabo mediante comparación del valor estimado de la calidad instantánea del canal con umbrales predefinidos, representativos de valores teóricos de la calidad instantánea del canal requeridos para la utilización de los diferentes formatos de transmisión.

30 Los umbrales son estáticos, fijados *a priori* por el operador del sistema de telecomunicaciones y determinados al objeto de asegurar teóricamente que, para cada formato de transmisión, una tasa de error en los datos recibidos es inferior a una tasa de error máxima admisible. Es corriente además prever márgenes entre los umbrales seleccionados y los valores teóricos de la calidad instantánea del canal de propagación para los que se obtienen las tasas máximas de error, con el fin de precaverse contra imprecisiones eventuales en el valor estimado de la calidad instantánea del canal, relacionadas con la precisión del estimador que se considere, con variaciones del canal, etc.

La puesta en práctica de tales umbrales estáticos presenta inconvenientes.

35 En primer lugar, los umbrales estáticos son los mismos para todos los terminales terrestres y no tienen en cuenta las especificidades de los diferentes canales entre el satélite y cada terminal terrestre. En consecuencia, los márgenes introducidos son notables, de modo que el ancho de banda entre el satélite y los terminales terrestres es ampliamente infrutilizado.

40 Además, los umbrales estáticos no permiten tomar en cuenta las evoluciones a lo largo del tiempo de los diferentes canales. Concretamente, el tiempo, llamado "retardo de bucle", entre el instante en el que se estima la calidad instantánea del canal y el instante en el que se aplicará efectivamente y se presentará al receptor el formato de transmisión, escogido en función de dicho valor estimado, puede variar en la práctica entre 0,5 segundos y 5 segundos en un sistema de telecomunicaciones por satélite tal como DVB-S2, en el que los satélites están situados en órbita geoestacionaria (GEO). Es de señalar que el valor de 0,5 segundos corresponde a un valor mínimo irreducible del retardo de bucle, inducido por los tiempos de propagación de señales entre la Tierra y un satélite en órbita GEO.

Durante el retardo de bucle pueden producirse variaciones de la calidad instantánea del canal y puede dejar de estar adaptado el formato de transmisión seleccionado. Las variaciones del canal son tanto más importantes cuando se utilizan bandas de frecuencias altas, por ejemplo bandas Ka, Q, V, etc.

50 En el contexto de los sistemas de telecomunicaciones por satélite, se conoce, por la solicitud de patente europea EP2061167, transmitir de manera periódica una secuencia de aprendizaje para cada formato de transmisión disponible, y comprobar qué secuencias de aprendizaje han sido demoduladas / decodificadas correctamente, y seleccionar, para la transmisión de paquetes de datos de usuario, un formato de transmisión para el cual la

correspondiente secuencia de aprendizaje ha sido demodulada / decodificada correctamente.

Este procedimiento presenta el inconveniente de una reducción del ancho de banda disponible para la transmisión de datos de usuario, debido a la necesidad de transmitir periódicamente secuencias de aprendizaje para cada formato de transmisión disponible (correspondiendo una secuencia de aprendizaje a datos conocidos *a priori* por el satélite y por el terminal terrestre). Además, este procedimiento no tiene en cuenta las posibles variaciones de la calidad instantánea del canal, relacionadas en particular con el retardo de bucle necesario para aplicar el formato de transmisión seleccionado.

El documento US2007/0110002 A1 describe un procedimiento de selección de formato de transmisión en función de una estimación de la calidad del canal, de un máximo retardo permitido por motivos de calidad de servicio y de una tabla de umbrales. El documento describe que, para determinar la tabla de umbrales, se utilizan relaciones entre relación señal a ruido (SNR) y tasa de error de paquetes (PER).

La presente invención pretende proporcionar una solución que permita adaptar los umbrales a las especificidades de cada canal y, preferentemente, determinar umbrales que toman en cuenta las variaciones de cada canal a lo largo del retardo de bucle.

La presente invención pretende asimismo proporcionar una solución con la que puedan implementarse algunas formas de puesta en práctica con pocas modificaciones o ninguna de los actuales estándares de telecomunicaciones por satélite, especialmente el estándar DVB-S2.

La presente invención se refiere a un procedimiento de calibración de un umbral de selección de un formato de transmisión, de entre una pluralidad de formatos de transmisión, para intercambiar paquetes de datos en un canal de propagación por radiofrecuencia, llamado "canal", entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite. El procedimiento de calibración de umbral incluye:

- una etapa de cálculo de una tabla de calibración del umbral:
  - o en función de errores estimados para paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y que utilizan el formato de transmisión asociado al umbral que ha de calibrarse, y
  - o en función de valores estimados de la calidad instantánea del canal en la recepción de dichos paquetes de datos,

asociando dicha tabla de calibración, a una pluralidad de valores de la calidad instantánea del canal, unas estadísticas de transmisión representativas de una cantidad de errores estimados para una pluralidad de paquetes de datos previamente recibidos por el dispositivo receptor,

- una etapa de actualización del umbral como, a tenor de la tabla de calibración, un valor de la calidad instantánea del canal que permite asegurar un valor predefinido de la estadística de transmisión.

Al actualizar un umbral, asociado a un dispositivo receptor, a tenor de una tabla de calibración calculada en función de señales recibidas por dicho dispositivo receptor, se comprende que ese umbral será determinado teniendo en cuenta las condiciones de recepción específicas de dicho dispositivo receptor.

Preferentemente, las estadísticas de transmisión son estadísticas de transmisión anticipadas. Una estadística de transmisión anticipada, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, es una estadística de transmisión calculada para paquetes de datos recibidos, con relación a un instante en el que se ha estimado dicho valor dado de la calidad instantánea de canal, tras la expiración de un tiempo de anticipación representativo del retardo de bucle. Se comprende que el cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas permite integrar, en la actualización del umbral, el hecho de que el establecimiento de un formato de transmisión no es instantáneo, especialmente en los sistemas de telecomunicaciones por satélite.

Según un primer modo de cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas, la etapa de cálculo incluye:

- una sub-etapa de desfase temporal de los valores estimados de la calidad instantánea del canal, al objeto de asociar dichos valores estimados de la calidad del canal con paquetes de datos recibidos, con relación a los instantes en los que han sido estimados dichos valores de la calidad instantánea del canal, tras la expiración del tiempo de anticipación,
- una sub-etapa de cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas en función de errores estimados para paquetes de datos asociados a dichos valores desfasados de la calidad instantánea del canal.

Según un segundo modo de cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas, la etapa de cálculo incluye las sub-etapas:

- de cálculo de al menos un modelo de variación de la calidad instantánea del canal, en función de valores

estimados de la calidad instantánea del canal,

5 - de cálculo de estadísticas de transmisión instantáneas en función de errores estimados para paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, siendo una estadística de transmisión anticipada, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, una estadística calculada para paquetes de datos recibidos para los cuales ha sido estimado dicho valor dado de la calidad instantánea del canal,

- de cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas mediante combinación de al menos un modelo de variación de la calidad instantánea del canal y de las estadísticas de transmisión instantáneas.

Según formas particulares de puesta en práctica del procedimiento de calibración, este incluye una o varias de las siguientes características, consideradas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

10 - el cálculo de las estadísticas de transmisión integra un factor de olvido, al objeto de priorizar errores estimados para los últimos paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor,

15 - los paquetes de datos recibidos, en función de los cuales se calculan las estadísticas de transmisión, corresponden a datos de usuario y/o a secuencias de aprendizaje conocidas por el dispositivo receptor, transmitiéndose secuencias de aprendizaje cuando en el dispositivo emisor se halla infrautilizado un ancho de banda disponible,

- los paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, en función de los cuales se calculan las estadísticas de transmisión, comprenden paquetes de datos con destino a otros dispositivos receptores,

20 - en el caso de varios dispositivos receptores, se actualizan umbrales independientemente para cada uno de dichos dispositivos receptores, calculando al menos una tabla de calibración por dispositivo receptor en función de paquetes de datos recibidos por ese dispositivo receptor,

- en el transcurso de la etapa de actualización, son actualizados dos umbrales asociados a la selección de un mismo formato de transmisión, un primer umbral que se pondrá en práctica cuando el valor estimado de la calidad del canal crece y un segundo umbral que se pondrá en práctica cuando el valor estimado de la calidad del canal decrece.

25 La presente invención se refiere asimismo a un módulo de calibración de umbral para la selección de un formato de transmisión, de entre una pluralidad de formatos de transmisión, para intercambiar paquetes de datos entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite. Dicho módulo incluye:

- medios de cálculo de una tabla de calibración del umbral:

- 30
- o en función de errores estimados para paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y que utilizan el formato de transmisión asociado al umbral que ha de calibrarse, y
  - o en función de valores estimados de la calidad instantánea del canal en la recepción de dichos paquetes de datos,

35 asociando dicha tabla de calibración, a una pluralidad de valores de la calidad instantánea del canal, unas estadísticas de transmisión representativas de una cantidad de errores estimados para una pluralidad de paquetes de datos previamente recibidos por el dispositivo receptor,

- medios de actualización del umbral como, a tenor de la tabla de calibración, un valor de la calidad instantánea del canal que permite asegurar un valor predefinido de la estadística de transmisión.

Preferentemente, las estadísticas de transmisión calculadas son estadísticas de transmisión anticipadas.

40 Preferentemente, el módulo de calibración incluye medios de estimación de los errores en paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y medios de estimación de la calidad instantánea del canal.

Preferentemente, el módulo de calibración incluye una memoria no volátil en la que se memoriza un histórico determinado a tenor de los paquetes de datos recibidos con anterioridad, estando adaptado el histórico para permitir el cálculo de la tabla de calibración teniendo en cuenta dichos paquetes de datos recibidos con anterioridad por el dispositivo receptor.

45 La presente invención se refiere asimismo a un equipo, de un sistema de telecomunicaciones por satélite, que incluye un módulo de calibración de umbrales según la invención. El equipo es un terminal terrestre, un satélite o una estación de tierra.

50 La presente invención se refiere asimismo a un sistema de telecomunicaciones por satélite, incluyendo dicho sistema al menos un módulo de calibración de umbrales que va embarcado en uno de los antedichos equipos, o repartido entre dos de dichos equipos.

La siguiente descripción de la invención se lleva a cabo haciendo referencia a las figuras, en las que idénticas referencias designan elementos idénticos o análogos, las cuales representan, sin carácter limitativo:

Figura 1: un diagrama que ilustra esquemáticamente las diferentes etapas de un procedimiento de selección y de un procedimiento de calibración de umbrales según la invención,

5 figuras 2a y 2b: unos diagramas que ilustran esquemáticamente el cálculo de tasas de error anticipadas según dos formas preferidas de puesta en práctica de la invención,

figura 3: un ejemplo que ilustra la actualización de un umbral en función de una tabla de tasas de error, y

figura 4: una representación esquemática de un sistema de telecomunicaciones por satélite.

10 La presente invención se refiere a un procedimiento de calibración de un umbral de selección de un formato de transmisión de datos, de entre una pluralidad de formatos de transmisión, para intercambiar paquetes de datos en un canal de propagación por radiofrecuencia, llamado "canal", entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite.

15 Según se ha dicho, se entiende por "formato de transmisión" uno o unos parámetros determinativos de la conformación de los datos transmitidos en el canal. Estos parámetros son, por ejemplo, un tipo de modulación y/o una velocidad de codificación de canal. Se pueden considerar también otros parámetros en la definición de un formato de transmisión, como por ejemplo el tipo de codificación de canal, si están disponibles varios tipos de codificación de canal (código convolucional, turbocódigo, código LDPC, etc.), la potencia de transmisión, la temporización de símbolo, etc.

20 Tal como se representa en la figura 1, un procedimiento de selección de formato de transmisión incluye dos etapas 10 y 20: una etapa de estimación de la calidad instantánea del canal 10 entre el dispositivo emisor y el dispositivo receptor y una etapa de selección de un formato de transmisión 20 que ha de utilizarse, mediante comparación del valor estimado de la calidad instantánea del canal con unos umbrales. Cada umbral corresponde a un valor teórico de la calidad instantánea del canal requerida para la utilización de uno de los formatos de transmisión disponibles para transmitir paquetes de datos del dispositivo emisor hacia el dispositivo receptor.

25 Por "calidad instantánea del canal", se entiende una estimación a corto plazo de la calidad del canal, representativa de la calidad en un instante dado. Tal estimación a corto plazo puede utilizar la señal recibida por el dispositivo receptor en una ventana temporal de duración  $\delta t$  representativa de la duración de un paquete de datos, que es del orden del milisegundo para un sistema de telecomunicaciones por satélite DVB-S2.

30 Son posibles diferentes representaciones de la calidad instantánea del canal, y optar por una representación particular no constituye más que una variante de implementación de la invención. Por ejemplo, la calidad instantánea del canal se puede representar en forma de una relación señal a ruido, de una relación señal a ruido más interferencias, de la potencia de la señal recibida, de una capacidad del canal (en el sentido de la teoría de la información), o cualquier otra representación conocida por un experto en la materia.

35 La calidad instantánea del canal se estima a partir de la señal recibida por el dispositivo receptor, pudiéndose llevar a la práctica cualquier procedimiento de estimación de la calidad instantánea del canal conocido por un experto en la materia. La calidad instantánea del canal se puede estimar en función de paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, de la densidad espectral de potencia de la señal recibida por el dispositivo receptor, etc.

Tal como se ilustra mediante la figura 1, un procedimiento de calibración de umbrales según la invención incluye las etapas 30 y 40 siguientes:

40 - de cálculo de una tabla de calibración del umbral 30:

- o en función de errores estimados para paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y que utilizan el formato de transmisión asociado al umbral que ha de calibrarse, y
- o en función de valores estimados de la calidad instantánea del canal en la recepción de dichos paquetes de datos,

45 asociando dicha tabla de calibración, a una pluralidad de valores de la calidad instantánea del canal, unas estadísticas de transmisión representativas de una cantidad de errores estimados para una pluralidad de paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor,

- de actualización del umbral 40 como, a tenor de la tabla de calibración, un valor de la calidad instantánea del canal que permite asegurar un valor predefinido de la estadística de transmisión.

50 Es de señalar que la figura 1 representa las diferentes etapas del procedimiento de selección y del procedimiento de calibración de una manera muy esquemática. En particular, la figura 1 no da indicación de las duraciones relativas

- de las diferentes etapas entre sí. Concretamente, las etapas 10 y 20 del procedimiento de selección son etapas que se ejecutan cada vez que se debe seleccionar un formato de transmisión. Las etapas 30 y 40 del procedimiento de calibración son etapas ejecutadas a más largo plazo. Más concretamente, la etapa de cálculo 30 es una etapa que requiere recoger información a partir de una pluralidad de paquetes de datos previamente recibidos por el dispositivo receptor para calcular la tabla de calibración (también designada seguidamente por “tabla de estadísticas de transmisión”).
- 5 Preferentemente, los umbrales de cada formato de transmisión son actualizados en el transcurso de la etapa 40, y se calcula, en el transcurso de la etapa 30, una tabla de estadísticas de transmisión para cada formato de transmisión.
- 10 Es de señalar que no necesariamente se asocian umbrales a todos los formatos de transmisión. En concreto, uno de los formatos de transmisión, generalmente el correspondiente a la menor velocidad de transferencia de datos, se puede utilizar por defecto, sin que se le asocie un umbral. Por lo tanto, por “cada formato de transmisión”, se entiende cada formato de transmisión al que se asocia al menos un umbral.
- 15 Preferentemente, se definen umbrales diferentes para cada dispositivo receptor con el que intercambia paquetes de datos el dispositivo emisor. Los umbrales definidos para un dispositivo receptor dado se calculan en función de las señales recibidas por dicho dispositivo receptor dado.
- Por tanto, se comprende que, haciendo uso de los paquetes de datos recibidos por un dispositivo receptor para calibrar los umbrales asociados a ese dispositivo receptor, será posible adaptar los umbrales a las especificidades del canal entre el dispositivo emisor y ese dispositivo receptor.
- 20 Por “estadísticas de transmisión” se entiende estadísticas representativas de una cantidad de errores estimados para una pluralidad de paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, es decir, representativos de una cantidad de datos recibidos con errores o, de manera equivalente, de una cantidad de datos recibidos sin errores.
- 25 Los paquetes de datos se conforman de manera acorde con el formato de transmisión seleccionado, es decir, se codifican con la velocidad de codificación de canal seleccionada y se modulan con el tipo de modulación seleccionado. En el dispositivo receptor, los datos recibidos son demodulados / decodificados. Los errores corresponden a diferencias entre los paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y los paquetes de datos realmente emitidos por el dispositivo emisor.
- 30 En el contexto de la invención, se entiende genéricamente por “paquete” cualquier agrupamiento de datos transmitidos en el canal. Se trata, por ejemplo, de “tramas” en el contexto de DVB-S2, de “celdas” en el contexto de una red ATM (“Asynchronous Transfer Mode”), etc.
- Para calcular una tabla de estadísticas de transmisión, se ponen en práctica medios de estimación de errores.
- Los datos intercambiados generalmente se materializan en información binaria, llamada “bits”. Los errores estimados son preferentemente errores en los bits o errores en los paquetes (considerándose erróneo un paquete a partir del momento en que al menos un bit recibido es erróneo).
- 35 Cuando los paquetes de datos son secuencias de aprendizaje, la estimación de bits erróneos y de paquetes erróneos en el dispositivo receptor es simple, por cuanto que las secuencias de aprendizaje son conocidas *a priori* por dicho dispositivo receptor. El dispositivo receptor puede, por ejemplo, comparar la secuencia de aprendizaje recibida, tras la demodulación y decodificación, con la secuencia de aprendizaje teóricamente emitida, preferentemente memorizada en una memoria no volátil de dicho dispositivo receptor.
- 40 En el caso de datos correspondientes a datos de usuario, no conocidos *a priori* por el dispositivo receptor, la estimación de bits erróneos y de paquetes erróneos puede efectuarse según cualquier procedimiento conocido.
- 45 En particular, es sabido para un experto en la materia que un decodificador de canal puede determinar con una gran fiabilidad si quedan errores a continuación de la decodificación de canal. Por ejemplo, cuando se utiliza una codificación de canal de tipo Reed-Solomon o BCH, se puede calcular un síndrome en función del cual es posible determinar si hay o no errores y si esos errores pueden ser corregidos (es decir, en la medida de la capacidad de corrección del decodificador). Así, el decodificador de canal puede estimar el número de bits que incluyen errores y/o estimar si el paquete de datos tras la decodificación de canal es erróneo.
- 50 Para calcular una tabla de estadísticas de transmisión, se deben llevar a la práctica unos medios de estimación de la calidad instantánea del canal. Se puede llevar a la práctica cualquier procedimiento de estimación de la calidad instantánea del canal conocido por un experto en la materia. Es de señalar que la calidad instantánea del canal se puede estimar en función de paquetes de datos (por ejemplo, los utilizados para calcular las estadísticas de transmisión), de la densidad espectral de potencia de la señal recibida por el dispositivo receptor, etc. Preferentemente, los medios de estimación de la calidad instantánea del canal, puestos en práctica para el cálculo de una tabla de estadísticas de transmisión, son los mismos medios que aquellos puestos en práctica a lo largo de la
- 55 etapa 10 (ilustrados en la figura 1 con un trazo discontinuo).

Preferentemente, las estadísticas de transmisión se calculan a lo largo de la etapa 30 a partir de paquetes de datos correspondientes a datos de usuario. Tales disposiciones presentan la ventaja de no reducir el ancho de banda disponible en el dispositivo emisor con la transmisión de secuencias de aprendizaje (como sucedía en la técnica anterior). Además, al utilizar paquetes de datos correspondientes a datos de usuario, la invención se puede aplicar en sistemas de telecomunicaciones DVB-S2, sin que sea necesario modificar las especificaciones DVB-S2 (la utilización de secuencias de aprendizaje, en cambio, precisa definir dichas secuencias de aprendizaje en las especificaciones DVB-S2, en interés de la interoperabilidad entre diferentes dispositivos emisores y receptores).

Cabe asimismo la posibilidad, para un dispositivo receptor, de hacer uso de los paquetes de datos recibidos, emitidos con destino a otros dispositivos receptores, con el fin de acelerar el cálculo de tablas de estadísticas de transmisión.

Sin embargo, nada descarta utilizar secuencias de aprendizaje para calcular las estadísticas de transmisión. En efecto, el ancho de banda disponible puede encontrarse infrautilizado, por ejemplo por la existencia de pocos dispositivos receptores en intercambio de paquetes de datos con el dispositivo emisor. En tal caso, ventajosamente se emiten secuencias de aprendizaje, además de paquetes de datos correspondientes a datos de usuario, haciendo uso del ancho de banda no utilizado. El número de paquetes de datos recibidos se ve incrementado mediante el envío de secuencias de aprendizaje, lo cual permite acelerar el cálculo de las tablas de estadísticas de transmisión.

En una forma preferida de puesta en práctica, las estadísticas de transmisión son estadísticas de transmisión "anticipadas".

Una estadística de transmisión anticipada, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, se calcula para paquetes de datos recibidos, con relación a un instante en el que se ha estimado dicho valor dado de la calidad instantánea del canal, tras la expiración de un tiempo no nulo, llamado "tiempo de anticipación  $\Delta t$ ". Dicho de otro modo, una tabla de estadísticas de transmisión anticipadas de un formato de transmisión asocia, a un valor estimado de la calidad instantánea del canal en un instante  $t$ , una estadística de transmisión esperada para paquetes de datos que, utilizando dicho formato de transmisión, serán recibidos en el instante  $(t + \Delta t)$ .

El tiempo de anticipación  $\Delta t$  es preferentemente sensiblemente igual al retardo de bucle, el cual, en un sistema de telecomunicaciones por satélite DVB-S2, es significativamente superior a la duración  $\delta t$  considerada para estimar la calidad instantánea del canal (representativa de la duración de un paquete de datos, del orden del milisegundo). Tal como se ha descrito anteriormente, el retardo de bucle corresponde al tiempo de establecimiento del formato de transmisión seleccionado con relación al instante en el que se ha estimado la calidad instantánea del canal (a lo largo de la etapa 10). El retardo de bucle se determina poniendo en práctica procedimientos conocidos por un experto en la materia.

El retardo de bucle puede variar, de un sistema DVB-S2 a otro, entre aproximadamente 0,5 segundos y 5 segundos, debido a una utilización de parámetros de sistema diferentes. En el seno de un mismo sistema DVB-S2, el retardo de bucle no es fijo y puede variar dentro de un margen temporal más reducido. En semejante caso en el que el retardo de bucle no es fijo, el tiempo de anticipación  $\Delta t$  se fija, por ejemplo, sensiblemente igual al retardo máximo de bucle o a un retardo medio de bucle.

Las estadísticas de transmisión anticipadas se calculan, para un dispositivo receptor dado, en función de paquetes de datos intercambiados previamente entre el dispositivo emisor y ese dispositivo receptor.

Se comprende que el conocimiento de estadísticas de transmisión anticipadas permite tomar en cuenta las variaciones de la calidad instantánea del canal en el transcurso del retardo de bucle y, por tanto, permite determinar umbrales que están adaptados a la selección de formatos de transmisión que no se aplicarán hasta la expiración del retardo de bucle.

Es de señalar que, según otros ejemplos, se determinan estadísticas de transmisión "instantáneas", es decir, calculando directamente las estadísticas de transmisión para paquetes de datos recibidos sensiblemente en el mismo instante que aquel en el que se ha estimado la calidad instantánea del canal asociado. Esto equivale a considerar, a diferencia del caso de estadísticas de transmisión anticipadas, un retardo sensiblemente nulo.

La utilización de estadísticas de transmisión instantáneas presenta la particular ventaja, respecto al estado de la técnica, de permitir una consideración de las condiciones de recepción de cada dispositivo receptor.

La utilización de estadísticas de transmisión anticipadas constituye una forma preferida de puesta en práctica que, según se ha visto, permite tomar en cuenta el retardo de bucle inherente al sistema de telecomunicaciones por satélite. El retardo de bucle de un sistema tal como DVB-S2 es muy superior a los retardos de bucle observados en los sistemas de telecomunicaciones terrestres, debido en particular a tiempos de propagación mucho más largos (al estar situados los satélites en órbita GEO).

Las figuras 2a y 2b representan sendas formas particulares de puesta en práctica de la etapa de cálculo de tabla de estadísticas de transmisión anticipadas 30. Estas formas se describen atendiendo al ejemplo no limitativo en el que

las estadísticas de transmisión calculadas son tasas de error, por ejemplo una tasa de error en los bits o una tasa de error en los paquetes.

5 Una tasa de error en los bits (conocida con el nombre de "Bit Error Rate" o "BER" en la bibliografía anglosajona) corresponde a la relación entre el número de bits erróneos y el número total de bits recibidos, promediada en una pluralidad de paquetes de datos. La tasa de error en los bits corresponde a una estimación de la probabilidad de que un bit emitido sea erróneo al recibirlo.

10 Una tasa de error en los paquetes ("Packet Error Rate" o "PER" en la bibliografía anglosajona) corresponde a la relación entre el número de paquetes erróneos y el número total de paquetes recibidos, promediada en una pluralidad de paquetes de datos. La tasa de error en los paquetes corresponde a una estimación de la probabilidad de que un paquete emitido sea erróneo al recibirlo.

A efectos de claridad de la descripción de las figuras 2a y 2b, se considera la actualización de un sólo umbral, asociado a un formato de transmisión designado con  $F_0$ , y el cálculo de la tabla de tasas de error anticipadas, asociada a dicho formato de transmisión. Para la actualización de una pluralidad de umbrales, conviene proceder del mismo modo para cada uno de dichos formatos de transmisión asociados.

15 Más adelante en la descripción, se utilizan las siguientes notaciones:

- $c(t)$  designa el valor de la calidad instantánea del canal, estimado para un paquete de datos recibido en un instante  $t$ ,
- $f(t)$  designa el formato de transmisión utilizado para el paquete de datos recibido en el instante  $t$ ,
- $e(t)$  designa el número estimado de errores para el paquete de datos recibido en el instante  $t$ .

20 La figura 2a representa una primera forma preferida de puesta en práctica de la etapa de cálculo de la tabla de tasas de error anticipadas 30, asociada al formato de transmisión  $F_0$ , en la que las tasas de error anticipadas se calculan desfasando en el tiempo los valores estimados de la calidad instantánea del canal con relación a los paquetes de datos recibidos.

Tal como se representa en la figura 2a, la etapa 30 incluye, según esta forma de puesta en práctica, las sub-etapas:

- 25
- de desfase temporal 300 de los valores estimados de la calidad instantánea del canal,
  - de cálculo de tasas de error anticipadas 301.

30 En el transcurso de la sub-etapa de desfase temporal 300, se retardan los valores estimados de la calidad instantánea del canal, estimados para paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, al objeto de asociar dichos valores estimados de la calidad del canal con paquetes de datos recibidos, con relación al instante de estimación de dichos valores de la calidad instantánea del canal, tras la expiración del tiempo de anticipación. Dicho de otro modo, se asocia un valor de la calidad instantánea del canal, estimado para un primer paquete de datos recibido por el dispositivo receptor, con el número de errores y con el formato de transmisión de un segundo paquete de datos recibido, con relación a dicho primer paquete de datos, tras la expiración del retardo de bucle.

Se dispone entonces, para un segundo paquete de datos recibido en un instante  $t$ , de la siguiente información:

- 35
- $e(t)$  el número de errores estimado para dicho segundo paquete,
  - $f(t)$  el formato de transmisión utilizado para dicho segundo paquete,
  - $c(t - \Delta t)$  el valor estimado, llamado "valor anterior", de la calidad instantánea del canal para el primer paquete de datos.

40 Para la actualización del umbral asociado al formato de transmisión  $F_0$ , sólo se consideran los segundos paquetes de datos cuyo formato de transmisión  $f(t)$  es igual a  $F_0$ . Es de señalar que el formato de transmisión de los primeros paquetes de datos puede ser distinto de  $F_0$ .

En el transcurso de la sub-etapa de cálculo de las tasas de error anticipadas 301, se incrementan unos contadores acumulativos en el número de paquetes de datos recibidos y en el número estimado de errores para dichos paquetes.

45 Preferentemente, se dispone de contadores diferentes para cada valor de la calidad instantánea del canal para la que se pretende calcular una tasa de error anticipada. Por ejemplo, para el formato de transmisión  $F_0$  y un valor  $C_0$  de la calidad instantánea del canal, se incrementan unos contadores designados por  $D(F_0, C_0)$  para el número de paquetes recibidos y por  $E(F_0, C_0)$  para el número estimado de errores.

En el caso de un cálculo de tasas de error en los paquetes de datos: si un paquete de datos, recibido en un instante

t, se conforma según el formato de transmisión  $F_0$ , y si el valor anterior  $c(t - \Delta t)$  de la calidad instantánea del canal es sensiblemente igual a  $C_0$ , se incrementan los contadores  $D(F_0, C_0)$  y  $E(F_0, C_0)$  como sigue:

$$D(F_0, C_0) = D(F_0, C_0) + 1,$$

$$E(F_0, C_0) = E(F_0, C_0) + e(t),$$

5 donde  $e(t)$  toma el valor 0 ó 1 según que el paquete sea recibido correctamente o sea erróneo.

Las anteriores ecuaciones pasan a ser, en el caso del cálculo de una tasa de error en los bits:

$$D(F_0, C_0) = D(F_0, C_0) + n(t),$$

$$E(F_0, C_0) = E(F_0, C_0) + e(t),$$

10 donde  $e(t)$  puede tomar todos los valores comprendidos entre 0 y el número  $n(t)$  de bits que incluye el paquete de datos que se considere, pudiendo variar de un paquete de datos a otro el número  $n(t)$  de bits por paquete.

Asimismo se puede, en el caso de un cálculo de tasas de error en los bits, incrementar un contador en el número de errores al cuadrado, designado por  $EE(F_0, C_0)$ , con el fin de estimar asimismo la desviación típica del número de errores, la cual se puede tomar en cuenta en particular en forma de un margen en la actualización del umbral. El contador  $EE(F_0, C_0)$  se incrementa, por ejemplo, como sigue:

$$15 \quad EE(F_0, C_0) = EE(F_0, C_0) + e^2(t).$$

La tasa de error anticipada para un valor  $C_0$  de la calidad instantánea del canal y para el formato de transmisión  $F_0$ , designada por  $p_A(F_0, C_0)$ , se puede expresar de la forma:

$$p_A(F_0, C_0) = E(F_0, C_0) / D(F_0, C_0).$$

20 La tabla de tasas de error anticipadas asociada al formato de transmisión  $F_0$ , designada por  $p_A(F_0)$ , está constituida por las tasas de error anticipadas  $p_A(F_0, C)$  calculadas para cada uno de los valores  $c$  considerados de la calidad instantánea del canal.

25 La figura 2b representa una segunda forma preferida de puesta en práctica de la etapa de cálculo de la tabla de tasas de error anticipadas 30, asociada al formato de transmisión  $F_0$ , en la que las tasas de error anticipadas se calculan en función de al menos un modelo de variación de la calidad instantánea del canal y en función de las tasas de error instantáneas.

Tal como se representa en la figura 2b, la etapa 30 incluye, según esta forma de puesta en práctica, las sub-etapas:

- de cálculo de al menos un modelo de variación 302 de la calidad instantánea del canal,
- de cálculo de tasas de error instantáneas 303,
- de cálculo de tasas de error anticipadas 304.

30 En el transcurso de la sub-etapa de cálculo de al menos un modelo de variación 302 de la calidad instantánea del canal, se calculan las variaciones de la calidad instantánea del canal durante el retardo de bucle, calculando las diferencias entre los valores de la calidad instantánea del canal estimados para una pluralidad de pares de paquetes de datos separados en el tiempo por dicho retardo de bucle.

35 Para un primer paquete de datos recibido en un instante  $(t - \Delta t)$  y un segundo paquete de datos recibido en un instante  $t$ , cuyos valores estimados de la calidad instantánea del canal son respectivamente  $c(t - \Delta t)$  y  $c(t)$ , la variación de dicha calidad se designa por  $\Delta c(t - \Delta t)$ . Por ejemplo, en el caso en el que la calidad instantánea del canal se representa mediante una relación señal a ruido, expresada en decibelios (dB), la variación  $\Delta c(t - \Delta t)$  se puede expresar de la forma:

$$\Delta c(t - \Delta t) = c(t - \Delta t) - c(t).$$

40 En una forma simple de puesta en práctica de la etapa 30, se puede determinar un sólo modelo de variación de la calidad instantánea del canal, que será utilizado para calcular las tasas de error anticipadas, cualquiera que sea el valor de la calidad instantánea del canal.

45 En una forma particular de puesta en práctica, considerada seguidamente, se determina una pluralidad de tales modelos, asociados a diferentes valores de la calidad instantánea del canal. Esta forma es ventajosa por cuanto que se ha observado que, en la práctica, las variaciones del canal pueden variar de un intervalo a otro de valores de la calidad instantánea del canal.

En el caso en que se determina una pluralidad de modelos, las variaciones calculadas se agrupan por ejemplo en función del valor anterior de la calidad instantánea del canal, estimado para el primer paquete de datos. Se agrupan, por ejemplo, todos los valores  $\Delta c(t - \Delta t)$  de variación calculados para un valor anterior  $c(t - \Delta t)$  de la calidad instantánea del canal sensiblemente igual a  $C_0$ . A continuación, se establece un modelo de variación de la calidad instantánea del canal para cada valor considerado de dicha calidad instantánea del canal.

5 A continuación, se describen unos ejemplos de cálculo del modelo de variación asociado a un valor anterior  $c(t - \Delta t)$  de la calidad instantánea del canal sensiblemente igual a  $C_0$ .

De acuerdo con un primer ejemplo, se incrementa un contador acumulativo en el número de paquetes de datos para los cuales el valor anterior  $c(t - \Delta t)$  de la calidad instantánea del canal era sensiblemente igual a  $C_0$ .

10 Para un valor dado de la variación de la calidad instantánea del canal durante el retardo de bucle, se incrementa igualmente un contador acumulativo en el número de paquetes de datos. Este contador totaliza, de entre los paquetes cuyo valor anterior de la calidad instantánea del canal era sensiblemente igual a  $C_0$ , los paquetes para los cuales el valor estimado de la variación de la calidad instantánea del canal es sensiblemente igual a dicho valor dado.

15 Preferentemente, se dispone de diferentes contadores para cada valor  $\Delta c$  de la variación del canal para el cual se pretende calcular una probabilidad. Por ejemplo, para un valor  $\Delta c_0$  de la variación de la calidad instantánea del canal, se incrementan unos contadores designados por  $S_0(C_0)$  para el número total de paquetes recibidos con un valor anterior  $c(t - \Delta t)$  de la calidad instantánea del canal sensiblemente igual a  $C_0$  y, por  $S_1(C_0, \Delta c_0)$ , para el número de paquetes para los cuales se ha estimado el valor  $\Delta c_0$  de variación.

20 Si se ha estimado, para un paquete de datos recibido en un instante  $(t - \Delta t)$ , que el valor anterior  $c(t - \Delta t)$  de la calidad instantánea del canal era sensiblemente igual a  $C_0$  y que el valor de variación de la calidad era sensiblemente igual a  $\Delta c_0$ , se incrementan los contadores  $S_0(C_0)$  y  $S_1(C_0, \Delta c_0)$  como sigue:

$$S_0(C_0) = S_0(C_0) + 1,$$

$$S_1(C_0, \Delta c_0) = S_1(C_0, \Delta c_0) + 1.$$

25 La probabilidad de tener un valor de la variación de la calidad instantánea del canal sensiblemente igual a  $\Delta c_0$  cuando el valor anterior era igual a  $C_0$ , designada por  $M(C_0, \Delta c_0)$ , se puede expresar entonces de la forma:

$$M(C_0, \Delta c_0) = S_1(C_0, \Delta c_0) / S_0(C_0).$$

30 El modelo de la variación de la calidad instantánea del canal asociado al valor  $C_0$  de la calidad instantánea del canal, designado por  $M(C_0)$ , está constituido por las probabilidades  $M(C_0, \Delta c)$  calculadas para cada uno de los valores  $\Delta c$  considerados de la variación de la calidad instantánea del canal.

De acuerdo con otro ejemplo, se puede adoptar el supuesto de una distribución gaussiana de la variación de la calidad instantánea del canal y estimar su media y su desviación típica en función de los valores de variación calculados, poniendo en práctica procedimientos conocidos por un experto en la materia.

35 En el transcurso de la sub-etapa 303, se calculan dos tasas de error instantáneas. Una tasa de error instantánea, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, se calcula directamente para una pluralidad de paquetes de datos recibidos con el valor dado de la calidad instantánea del canal (por oposición a una tasa de error anticipada, que se calcula para una pluralidad de paquetes de datos recibidos, con relación a instantes en los cuales el valor estimado de la calidad instantánea del canal correspondía a dicho valor dado, tras la expiración del retardo de bucle).

40 Para un paquete de datos recibido en un instante  $t$ , se dispone de la siguiente información:

- $e(t)$  el número estimado de errores para dicho paquete,
- $f(t)$  el formato de transmisión utilizado para dicho paquete,
- $c(t)$  el valor estimado, llamado "valor instantáneo", de la calidad instantánea del canal para dicho paquete de datos.

45 Para la actualización del umbral asociado al formato de transmisión  $F_0$ , sólo se consideran los paquetes de datos cuyo formato de transmisión  $f(t)$  es igual a  $F_0$ .

En el transcurso de la sub-etapa 303, se incrementan por ejemplo unos contadores acumulativos en el número de paquetes de datos recibidos y en el número estimado de errores para dichos paquetes.

50 Preferentemente, se dispone de contadores diferentes para cada valor de la calidad instantánea del canal para la que se pretende calcular una tasa de error instantánea. Por ejemplo, para el formato de transmisión  $F_0$  y un valor  $C_0$

de la calidad instantánea del canal, se incrementan unos contadores designados por  $D'(F_0, C_0)$  para el número de paquetes recibidos, y por  $E'(F_0, C_0)$ , para el número estimado de errores.

5 En el caso de un cálculo de tasas de error en los paquetes de datos: si un paquete de datos, recibido en un instante  $t$ , se conforma según el formato de transmisión  $F_0$ , y si el valor instantáneo  $c(t)$  de la calidad instantánea del canal es sensiblemente igual a  $C_0$ , se incrementan los contadores  $D'(F_0, C_0)$  y  $E'(F_0, C_0)$  como sigue:

$$D'(F_0, C_0) = D'(F_0, C_0) + 1,$$

$$E'(F_0, C_0) = E'(F_0, C_0) + e(t).$$

Las anteriores ecuaciones pasan a ser, en el caso del cálculo de una tasa de error en los bits:

$$D'(F_0, C_0) = D'(F_0, C_0) + n(t),$$

10  $E'(F_0, C_0) = E'(F_0, C_0) + e(t).$

La tasa de error instantánea para un valor  $C_0$  de la calidad instantánea del canal y para el formato de transmisión  $F_0$ , designada por  $p_i(F_0, C_0)$ , se puede expresar de la forma:

$$p_i(F_0, C_0) = E'(F_0, C_0) / D'(F_0, C_0).$$

15 La tabla de tasas de error instantáneas asociada al formato de transmisión  $F_0$ , designada por  $p_i(F_0)$ , está constituida por las tasas de error instantáneas  $p_i(F_0, c)$  calculadas para cada uno de los valores  $c$  considerados de la calidad instantánea del canal.

En el transcurso de la sub-etapa de cálculo de tasas de error anticipadas 304, se combinan las tasas de error instantáneas con los modelos de las variaciones de la calidad instantánea del canal.

20 Para determinar la tasa de error anticipada asociada a un valor anterior  $C_0$  de la calidad instantánea del canal, para el formato de transmisión  $F_0$ , designada por  $p_A(F_0, C_0)$ , se puede, por ejemplo, calcular la siguiente expresión:

$$p_A(F_0, C_0) = \sum_{\Delta c} p_i(F_0, C_0 + \Delta c) \cdot M(C_0, \Delta c).$$

25 El modelo de la variación  $M(C_0)$  permite asociar probabilidades  $M(C_0, \Delta c)$  con los valores posibles ( $C_0 + \Delta c$ ) de la calidad instantánea del canal tras la expiración del tiempo de anticipación. Ponderando las tasas de error instantáneas  $p_i(F_0, C_0 + \Delta c)$  por las probabilidades  $M(C_0, \Delta c)$  asociadas a dichos valores posibles, se obtiene la tasa de error anticipada  $p_A(F_0, C_0)$  asociada al valor  $C_0$  de la calidad instantánea del canal.

La tabla  $p_A(F_0)$  de tasas de error anticipadas asociada al formato de transmisión  $F_0$  está constituida por las tasas de error anticipadas  $p_A(F_0, C)$  calculadas para cada uno de los valores  $c$  considerados de la calidad instantánea del canal.

30 La etapa de actualización de umbrales 40 se describe a continuación con referencia a la figura 3, atendiendo al ejemplo no limitativo en el que las estadísticas de transmisión calculadas son tasas de error.

35 La figura 3 representa las tasas de error anticipadas determinadas para el formato de transmisión  $F_0$ , para valores de la calidad instantánea del canal comprendidos entre 2 decibelios (dB) y 2,6 dB, por pasos de 0,1 dB. En esta figura, las tasas de error anticipadas no están representadas más allá de 2,6 dB, debido por ejemplo a que no se ha detectado ningún error para esos valores de la calidad instantánea del canal. Se toma una tasa de error máxima admisible  $p_{m\acute{a}x}(F_0)$  igual a  $3E - 05$  (designada por  $p_{m\acute{a}x}$  en la figura 3). Se ve que se obtiene una tasa de error de  $3E - 05$  para un valor de la calidad de canal comprendido entre 2,4 dB y 2,5 dB.

40 Preferentemente, se determina el nuevo valor  $S(F_0)$  del umbral como el valor de la calidad instantánea del canal para la cual se tendría una tasa de error igual a  $p_{m\acute{a}x}$ , por ejemplo interpolando las tasas de error de la tabla (determinadas por pasos de 0,1 dB). De acuerdo con otro ejemplo no limitativo, el nuevo valor  $S(F_0)$  del umbral se determina como el valor de la calidad de canal asociada a la tasa de error calculada inmediatamente inferior a  $p_{m\acute{a}x}$ ; en la figura 3, esto equivaldría a considerar un nuevo valor  $S(F_0)$  del umbral de 2,5 dB.

45 De manera más general, el nuevo valor  $S(F_0)$  del umbral que se debe actualizar se determina, en el caso de estadísticas de transmisión representativas de tasas de error, de modo que  $p_A(F_0, S(F_0)) \leq p_{m\acute{a}x}(F_0)$ . Se hace constar que, en el caso de estadísticas de transmisión representativas de tasas de paquetes o de bits recibidos sin errores, el nuevo valor  $S(F_0)$  del umbral se determinaría de modo que la tasa de paquetes / bits recibidos sin errores, obtenida para el umbral  $S(F_0)$ , es igual o mayor que una tasa mínima admisible.

Dicho de otro modo, el nuevo valor  $S(F_0)$  del umbral se determina como, a tenor de la tabla de estadísticas de transmisión, un valor que permite asegurar un valor predefinido de la estadística de transmisión.

En el inicio de la recogida de información, es decir, cuando no se dispone del histórico de los intercambios de

5 paquetes de datos y los contadores están inicializados a cero, los umbrales toman preferentemente valores por defecto, predefinidos por ejemplo por el operador del sistema de telecomunicaciones por satélite. Se utilizan valores por defecto mientras no se hayan podido intercambiar paquetes de datos en número suficiente para que se pueda actualizar la totalidad o parte de los umbrales. Tal número se considera suficiente, por ejemplo, cuando es del orden del centenar o, preferiblemente, del orden del millar o más.

Es ventajoso imponer que se haya recogido información para un número mínimo de paquetes de datos con el fin de mejorar la precisión de la estimación de las estadísticas de transmisión.

10 Mientras no se hayan intercambiado paquetes de datos en número suficiente, preferentemente no se ejecuta la etapa de actualización del umbral 40 de al menos un formato de transmisión. De acuerdo con otro ejemplo, se ejecuta dicha etapa, pero el nuevo valor de un umbral actualizado corresponde al valor por defecto, mientras a lo largo de la etapa 30 se haya recibido y procesado un número insuficiente de paquetes de datos.

15 Es de señalar que la etapa de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión 30 se ejecuta preferiblemente para cada paquete de datos recibido, es decir, que en el cálculo de tablas de estadísticas se toma en cuenta cada paquete de datos recibido. La etapa de actualización de umbrales 40 se puede ejecutar con una menor frecuencia, definida por ejemplo en número de paquetes recibidos.

Adicionalmente, la etapa de actualización de umbrales 40 se puede ejecutar independientemente para cada formato de transmisión. Por ejemplo, tan pronto como se ha recibido un número mínimo de paquetes de datos para un formato de transmisión dado, desde la actualización precedente del umbral asociado, se ejecuta la etapa de actualización 40 para dicho formato de transmisión.

20 De acuerdo con una forma particular de puesta en práctica, compatible con las formas anteriores, la ejecución de la etapa de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión 30 se puede suspender temporalmente. Se conserva con todo un histórico de los intercambios de paquetes de datos entre el dispositivo emisor y el dispositivo receptor. El histórico comprende información adaptada para permitir el cálculo de tablas de calibración teniendo en cuenta los paquetes de datos recibidos con anterioridad por el dispositivo receptor. El histórico corresponde por ejemplo al estado de los diferentes contadores acumulativos, a los números estimados de errores para paquetes de datos y a los valores estimados de la calidad de canal, etc.

30 La ejecución de la etapa 30 se puede reanudar en cualquier momento y beneficiarse del histórico adquirido previamente a la suspensión. La suspensión / reanudación de la ejecución de la etapa 30 es ventajosa en particular por excluir determinados paquetes de datos del cálculo de las estadísticas de transmisión, por ejemplo paquetes de datos para los cuales es sabido *a priori* que los números estimados de errores y/o los valores estimados de la calidad de canal serían aberrantes.

De acuerdo con otra forma particular más de puesta en práctica, compatible con las formas anteriores, el cálculo de estadísticas de transmisión integra un factor de olvido, es decir, se priorizan los errores estimados para paquetes de datos recibidos recientemente con relación a errores estimados para paquetes de datos más antiguos.

35 Esto permite olvidar progresivamente paquetes de datos demasiado antiguos, cuyos números estimados de errores ya no serían representativos del actual canal entre el dispositivo emisor y el dispositivo receptor.

40 En el caso de las formas de puesta en práctica descritas con referencia a las figuras 2a y 2b, la implementación del factor de olvido consiste por ejemplo en una ponderación de los contadores acumulativos incrementados para calcular las tasas de error. La ponderación se efectúa mediante multiplicación de los contadores por un factor de ponderación  $\alpha$  real positivo inferior a uno. La ponderación se efectúa por ejemplo cada vez que se incrementan los contadores, o a intervalos regulares de tiempo, etc.

En el caso de los contadores  $D(F_0, C_0)$  y  $E(F_0, C_0)$  incrementados para el cálculo de la tasa de error anticipada asociada al formato de transmisión  $F_0$  y al valor anterior  $C_0$  de la calidad instantánea del canal, la ponderación se efectúa por ejemplo como sigue:

45

$$D(F_0, C_0) = \alpha \cdot D(F_0, C_0),$$

$$E(F_0, C_0) = \alpha \cdot E(F_0, C_0).$$

50 De acuerdo con otra forma particular más de puesta en práctica, compatible con las formas anteriores, se define y se actualiza, para cada formato de transmisión, un umbral ascendente y un umbral descendente. El umbral ascendente se utiliza (en el transcurso de la etapa de comparación 20) cuando crece el valor estimado (en el transcurso de la etapa de estimación 10) de la calidad instantánea del canal, en tanto que el umbral descendente se utiliza cuando decrece el valor estimado de la calidad instantánea del canal. En el caso en que las estadísticas de transmisión son representativas de tasas de error, el umbral ascendente es preferentemente superior al umbral descendente. Esta forma es ventajosa, ya que permite evitar cambios demasiado frecuentes de formatos de transmisión, los cuales podrían surgir en el caso de una calidad instantánea del canal fluctuante alrededor de un umbral único.

- 5 Por ejemplo, el umbral descendente se determina, según se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 3, al objeto de asegurar una tasa de error menor o igual que una primera tasa de error máxima admisible. El umbral ascendente se puede definir arbitrariamente añadiendo un margen predefinido al umbral descendente determinado, por ejemplo un margen de 3 dB. Tal margen predefinido puede variar de un dispositivo receptor a otro, de un formato de transmisión a otro, etc. De acuerdo con otro ejemplo no limitativo, el umbral ascendente se determina, según se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 3, al objeto de asegurar una tasa de error menor o igual que una segunda tasa de error máxima admisible, siendo la segunda tasa de error máxima admisible inferior a la primera tasa de error máxima admisible.
- 10 Las etapas 30, 40 del procedimiento de calibración son ejecutadas por el dispositivo receptor, o a la vez por el dispositivo receptor y el dispositivo emisor.
- La etapa de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión 30 es ejecutada preferentemente por el dispositivo receptor. De acuerdo con otros ejemplos, el dispositivo receptor determina información (números de errores, calidad instantánea del canal, formatos de transmisión, etc.) para paquetes de datos recibidos, y transmite dicha información al dispositivo emisor, el cual ejecuta la etapa 30.
- 15 La etapa de actualización del umbral de al menos un formato de transmisión 40 es ejecutada preferentemente por el dispositivo receptor. En tal caso, el dispositivo receptor determina, en función de paquetes de datos que ha recibido (correspondientes a datos de usuario y/o secuencias de aprendizaje) los umbrales que han de considerarse para determinar un formato de transmisión que esté adaptado al valor estimado de la calidad instantánea del canal y a sus potenciales variaciones durante el retardo de bucle. Los umbrales, tras la actualización, se comunican preferentemente al dispositivo emisor, especialmente si dicho dispositivo emisor ejecuta la etapa de comparación 20.
- 20 De acuerdo con otros ejemplos, la actualización la efectúa el dispositivo emisor: en tal caso, el dispositivo receptor comunica información que permite al dispositivo emisor actualizar dichos umbrales, preferentemente las tablas de estadísticas de transmisión.
- 25 Es de señalar que las etapas 30, 40 del procedimiento que pueden ser llevadas a la práctica por el dispositivo emisor también pueden ser llevadas a la práctica, en su totalidad o en parte, por un dispositivo de control. De acuerdo con un ejemplo no limitativo, el dispositivo de control puede poner en práctica la etapa de actualización 40 en función de información recibida del dispositivo receptor, transmitiéndose a continuación los umbrales tras la actualización al dispositivo emisor.
- 30 La figura 4 representa un sistema de telecomunicaciones por satélite, que incluye al menos una estación de tierra 1 (en ocasiones designada por "Gateway" o "Hub" en la bibliografía anglosajona) y una pluralidad de terminales terrestres 2, que intercambian paquetes de datos a través de un satélite 3.
- 35 Un terminal terrestre 2 es móvil o inmóvil y puede hallarse situado en cualquier lugar dentro de un área de cobertura del satélite 3, inclusive dentro de una aeronave (avión, helicóptero, etc.), dentro de un barco, etc. Un terminal terrestre 2 puede ser asimismo una estación repetidora que permite retransmitir datos recibidos del satélite 3 hacia una pluralidad de otros terminales terrestres 2.
- En el contexto de la invención, el dispositivo emisor, por una parte, y el dispositivo receptor, por otra, pueden ser respectivamente la estación de tierra 1 o un terminal terrestre 2 o un satélite 3.
- 40 De acuerdo con un primer ejemplo, el dispositivo emisor corresponde al satélite 3 y el dispositivo receptor corresponde a un terminal terrestre 2. El canal entre el satélite 3 y el terminal terrestre 2 está designado por la referencia  $L_1$  en la figura 4. En este primer ejemplo, la estación de tierra 1 puede corresponder además al dispositivo de control.
- 45 De acuerdo con otro ejemplo, el dispositivo emisor corresponde a la estación de tierra 1 y el dispositivo receptor corresponde a un terminal terrestre 2. El canal entre la estación de tierra 1 y el terminal terrestre 2 está designado por la referencia  $L_2$  en la figura 4 y engloba artificialmente al satélite 3. Este ejemplo corresponde al caso de un satélite 3 del tipo llamado "pasivo" (o "retransmisor"), que no demodula y no descodifica los paquetes de datos recibidos de la estación de tierra 1 antes de codificarlos y modularlos de nuevo para transmitirlos con destino al terminal terrestre 2, sino que se limita principalmente a amplificar nuevamente los paquetes de datos recibidos de la estación de tierra 1 y, eventualmente, a trasladarlos en frecuencia.
- 50 De acuerdo con otro ejemplo más, el dispositivo emisor corresponde a la estación de tierra 1 y el dispositivo receptor corresponde al satélite 3. El canal entre la estación de tierra 1 y el satélite 3 está designado por la referencia  $L_3$  en la figura 4. Este ejemplo corresponde por ejemplo al caso de un satélite 3 del tipo llamado "activo" (o "regenerativo"), que demodula y descodifica los paquetes de datos recibidos de la estación de tierra 1 antes de codificarlos y modularlos de nuevo para transmitirlos con destino al terminal terrestre 2.
- 55 Son posibles otros ejemplos. En concreto, los canales  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  son preferentemente bidireccionales, de modo que las funciones del dispositivo emisor y del dispositivo receptor también se pueden invertir.

La presente invención se refiere asimismo a un módulo de calibración de umbrales para la selección de un formato de transmisión de paquetes de datos que han de intercambiarse entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite.

5 El módulo de calibración incluye unos medios de cálculo, para al menos un formato de transmisión, de al menos una tabla de estadísticas de transmisión en función de paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, y unos medios de actualización del umbral de dicho al menos un formato de transmisión.

10 Dichos medios de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión y de actualización de umbrales están adaptados para llevar a la práctica las etapas, respectivamente, de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión 30 y de actualización de umbrales 40 del procedimiento de calibración según una cualquiera de las formas de puesta en práctica descritas.

Tal como se ha descrito anteriormente, dichas etapas de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión 30 y de actualización de umbrales 40 pueden ser ejecutadas por el dispositivo receptor y/o el dispositivo emisor, de modo que el módulo de calibración de umbrales está destinado a ir embarcado en un dispositivo receptor o emisor, o a hallarse repartido entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor.

15 El módulo de calibración de umbrales, cuando está destinado a hallarse repartido entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor, se descompone en dos submódulos: un primer submódulo, correspondiente a los medios de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión, y un segundo submódulo, correspondiente a los medios de actualización de umbrales.

20 El módulo de calibración de umbrales, especialmente cuando está destinado a ir embarcado en un dispositivo receptor, o, en su caso, el primer submódulo, incluye preferentemente unos medios de estimación de los errores para los paquetes de datos recibidos por dicho dispositivo receptor y unos medios de estimación de la calidad instantánea del canal.

25 En una forma de realización preferida, el módulo de calibración de umbrales o, en su caso, cada uno de los submódulos, incluye una unidad central de proceso, por ejemplo un microprocesador, relacionada con una unidad de almacenamiento (disco duro magnético, memoria RAM y/o ROM, disco óptico, etc.) mediante un bus de comunicación.

30 En la unidad de almacenamiento está memorizado un producto programa de ordenador, en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa que ha de ejecutar la unidad central de proceso para realizar las funciones de los medios de cálculo de tablas de estadísticas de transmisión, de los medios de actualización de umbrales, de los medios de estimación de los errores y de los medios de estimación de la calidad instantánea del canal.

De acuerdo con determinadas formas de realización, el módulo de calibración de umbrales incluye circuitos electrónicos, de tipo ASIC, FPGA, etc., que pueden ser configurados por la unidad central de proceso para realizar la totalidad o parte de las antedichas funciones.

35 En concreto, el módulo de calibración de los umbrales puede incluir uno o unos registros de desplazamiento para retardar los valores estimados de la calidad instantánea del canal, tal y como se describe con referencia a la figura 2a, para la sub-etapa 300.

40 Preferentemente, la unidad de almacenamiento incluye una memoria no volátil en la que se memoriza el histórico de los intercambios de paquetes de datos entre el dispositivo emisor y el dispositivo receptor. De esta manera, el módulo de calibración de umbrales está adaptado para calcular tablas de calibración teniendo en cuenta los paquetes de datos recibidos con anterioridad a una desconexión de dicho módulo de calibración. Preferentemente, el histórico se memoriza en forma del estado de los diferentes contadores acumulativos.

La presente invención se refiere asimismo a un terminal terrestre 2 que lleva embarcado el módulo de calibración de umbrales, a un satélite 3 que lleva embarcado dicho módulo de calibración de umbrales y a una estación de tierra 1 que lleva embarcado dicho módulo de calibración de umbrales.

45 La presente invención se refiere asimismo a un sistema de telecomunicaciones por satélite que incluye al menos un módulo de calibración de umbrales según la invención, estando embarcado el módulo de calibración en uno de los siguientes equipos, o repartido entre dos de los siguientes equipos: un terminal terrestre 2, un satélite 3, una estación de tierra 1.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de calibración de un umbral de selección de un formato de transmisión, de entre una pluralidad de formatos de transmisión, para intercambiar paquetes de datos en un canal de propagación por radiofrecuencia, llamado canal ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ), entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite (3), efectuándose la selección del formato de transmisión asociado a dicho umbral mediante comparación de un valor estimado de la calidad instantánea de dicho canal con dicho umbral, incluyendo dicho procedimiento:
- una etapa de cálculo de una tabla de calibración del umbral (30):
    - o en función de errores estimados en paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y que utilizan el formato de transmisión asociado al umbral y
    - o en función de valores estimados de la calidad instantánea del canal en la recepción de dichos paquetes de datos,
- asociando dicha tabla de calibración, a una pluralidad de valores de la calidad instantánea del canal, unas estadísticas de transmisión representativas de una cantidad de errores estimados para una pluralidad de paquetes de datos previamente recibidos por el dispositivo receptor,
- una etapa de actualización del umbral (40) como, a tenor de la tabla de calibración, un valor de la calidad instantánea del canal que permite asegurar un valor predefinido de la estadística de transmisión.
2. Procedimiento de calibración según la reivindicación 1, en el que, hallándose el satélite (3) en órbita geoestacionaria, las estadísticas de transmisión son estadísticas de transmisión anticipadas, siendo una estadística de transmisión anticipada, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, una estadística de transmisión calculada para paquetes de datos recibidos, con relación a un instante en el que se ha estimado dicho valor dado de la calidad instantánea del canal, tras la expiración de un tiempo de anticipación representativo del retardo entre un instante de estimación de la calidad instantánea del canal y un instante en el que se aplica y presenta al dispositivo receptor un formato de transmisión, seleccionado en función de dicho valor estimado de la calidad instantánea del canal.
3. Procedimiento de calibración según la reivindicación 2, en el que la etapa de cálculo (30) incluye:
- una sub-etapa de desfase temporal (300) de los valores estimados de la calidad instantánea del canal, al objeto de asociar dichos valores estimados de la calidad del canal con paquetes de datos recibidos, con relación a los instantes en los que han sido estimados dichos valores de la calidad instantánea del canal, tras la expiración del tiempo de anticipación,
  - una sub-etapa de cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas (301) en función de errores estimados para paquetes de datos asociados a dichos valores desfasados de la calidad instantánea del canal.
4. Procedimiento de calibración según la reivindicación 2, en el que la etapa de cálculo (30) incluye las sub-etapas:
- de cálculo de al menos un modelo de variación de la calidad instantánea del canal (302), en función de valores estimados de la calidad instantánea del canal,
  - de cálculo de estadísticas de transmisión instantáneas (303) en función de errores estimados para paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor, siendo una estadística de transmisión anticipada, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, una estadística calculada para paquetes de datos recibidos para los cuales ha sido estimado dicho valor dado de la calidad instantánea del canal,
  - de cálculo de estadísticas de transmisión anticipadas (304) mediante combinación de al menos un modelo de variación de la calidad instantánea del canal y de las estadísticas de transmisión instantáneas.
5. Procedimiento de calibración según una de las anteriores reivindicaciones, en el que el cálculo de las estadísticas de transmisión integra un factor de olvido, al objeto de priorizar errores estimados para los últimos paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor.
6. Procedimiento de calibración según una de las anteriores reivindicaciones, en el que, en el caso de varios dispositivos receptores, se actualizan umbrales independientemente para cada uno de dichos dispositivos receptores calculando al menos una tabla de calibración por dispositivo receptor en función de paquetes de datos recibidos por ese dispositivo receptor.
7. Procedimiento de calibración según una de las anteriores reivindicaciones, en el que, en el transcurso de la etapa de actualización, se actualizan dos umbrales asociados a la selección de un mismo formato de transmisión: un primer umbral que se pondrá en práctica cuando crece el valor estimado de la calidad del canal y un segundo umbral

que se pondrá en práctica cuando decrece el valor estimado de la calidad del canal.

5 8. Módulo de calibración de un umbral de selección de un formato de transmisión, de entre una pluralidad de formatos de transmisión, para intercambiar paquetes de datos en un canal de propagación por radiofrecuencia, llamado canal ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ), entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor de un sistema de telecomunicaciones por satélite, efectuándose la selección del formato de transmisión asociado a dicho umbral mediante comparación de un valor estimado de la calidad instantánea de dicho canal, que incluye:

- medios de cálculo de una tabla de calibración del umbral:
  - o en función de errores estimados en paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y que utilizan el formato de transmisión asociado al umbral que ha de calibrarse y
  - 10 o en función de valores estimados de la calidad instantánea del canal en la recepción de dichos paquetes de datos,

asociando dicha tabla de calibración, a una pluralidad de valores de la calidad instantánea del canal, unas estadísticas de transmisión representativas de una cantidad de errores estimados para una pluralidad de paquetes de datos previamente recibidos por el dispositivo receptor,

15 - medios de actualización del umbral como, a tenor de la tabla de calibración, un valor de la calidad instantánea del canal que permite asegurar un valor predefinido de la estadística de transmisión.

20 9. Módulo de calibración según la reivindicación 8, en el que, hallándose el satélite (3) en órbita geoestacionaria, las estadísticas de transmisión son estadísticas de transmisión anticipadas, siendo una estadística de transmisión anticipada, asociada a un valor dado de la calidad instantánea del canal, una estadística de transmisión calculada para paquetes de datos recibidos, con relación a un instante en el que se ha estimado dicho valor dado de la calidad instantánea del canal, tras la expiración de un tiempo de anticipación representativo del retardo entre un instante de estimación de la calidad instantánea del canal y un instante en el que se aplica y presenta al dispositivo receptor un formato de transmisión, seleccionado en función de dicho valor estimado de la calidad instantánea del canal.

25 10. Módulo de calibración según una de las reivindicaciones 8 a 9, que incluye medios de estimación de los errores en paquetes de datos recibidos por el dispositivo receptor y medios de estimación de la calidad instantánea del canal.

30 11. Módulo de calibración según una de las reivindicaciones 8 a 10, que incluye una memoria no volátil en la que se memoriza un histórico determinado a tenor de los paquetes de datos recibidos con anterioridad por el dispositivo receptor, estando adaptado el histórico para permitir el cálculo de la tabla de calibración teniendo en cuenta dichos paquetes de datos recibidos con anterioridad por el dispositivo receptor.

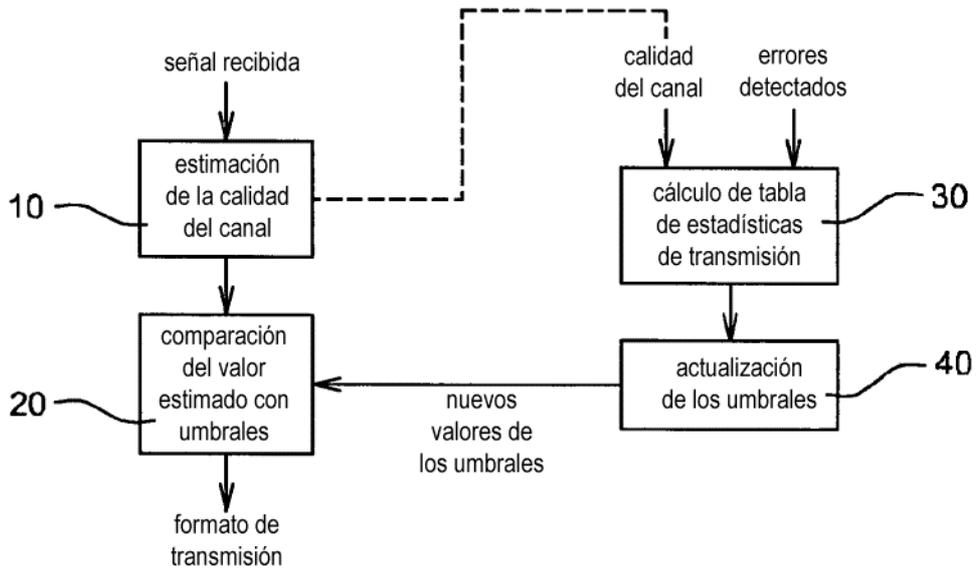
12. Terminal terrestre (2) de un sistema de telecomunicaciones por satélite, que incluye un módulo de calibración de umbral según una de las reivindicaciones 8 a 11.

13. Satélite (3) de un sistema de telecomunicaciones por satélite, que incluye un módulo de calibración de umbral según una de las reivindicaciones 8 a 11.

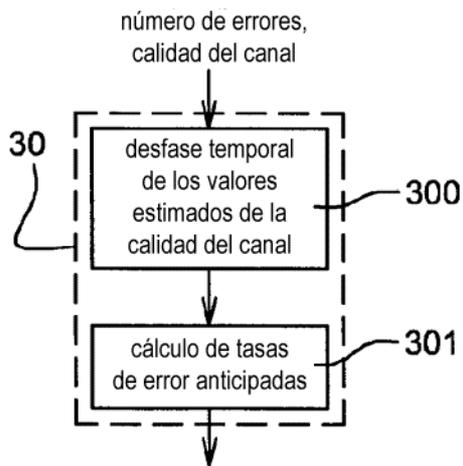
35 14. Estación de tierra (1) de un sistema de telecomunicaciones por satélite, que incluye un módulo de calibración de umbral según una de las reivindicaciones 8 a 11.

15. Sistema de telecomunicaciones por satélite, que incluye al menos un módulo de calibración de umbral según una de las reivindicaciones 8 a 11, estando dicho módulo embarcado en uno de los siguientes equipos, o repartido entre dos de dichos siguientes equipos: un terminal terrestre (2), un satélite (3), una estación de tierra (1).

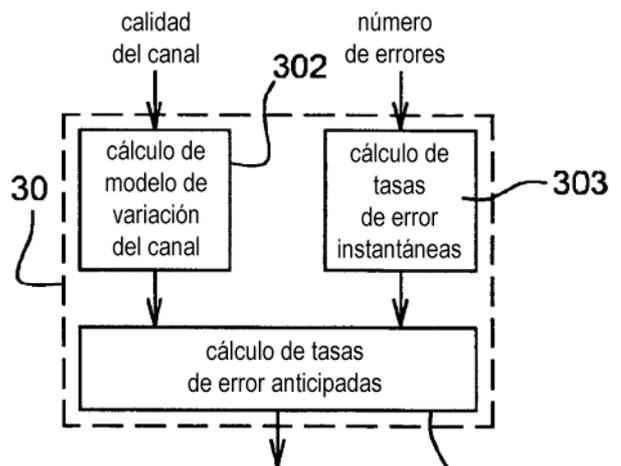
40



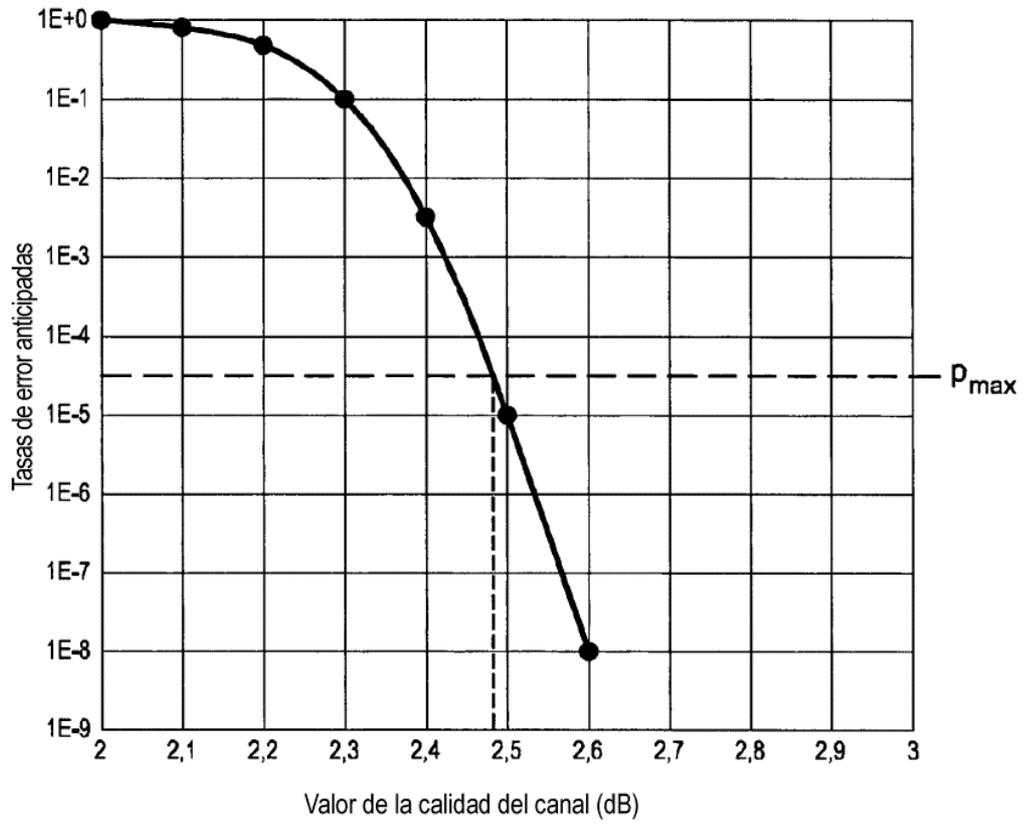
**Fig. 1**



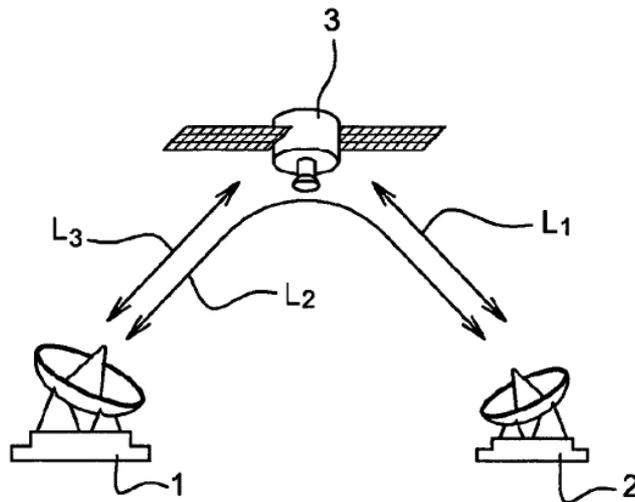
**Fig. 2a**



**Fig. 2b**



**Fig. 3**



**Fig. 4**