

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 375**

51 Int. Cl.:

**H03M 13/33** (2006.01)

**H03M 13/09** (2006.01)

**H03M 13/45** (2006.01)

**H04L 1/00** (2006.01)

**G06F 11/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2014 PCT/FR2014/053532**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15097404**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2014 E 14831014 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 3087678**

54 Título: **Corrección de errores con prueba de varias longitudes para una trama de datos**

30 Prioridad:

**26.12.2013 FR 1363578**

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

**13.02.2018**

73 Titular/es:

**GRDF (50.0%)  
6 rue Condorcet  
75009 Paris, FR y  
SUEZ GROUPE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**DORNSTETTER, JEAN LOUIS**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 654 375 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**

Corrección de errores con prueba de varias longitudes para una trama de datos

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de recepción de datos digitales en el que los datos son transmitidos por tramas utilizando una codificación de control de integridad de una trama transmitida, especialmente, aunque no exclusivamente, una codificación de control por redundancia cíclica.

10 La invención encuentra aplicación en todos los casos en que una señal digital se transmite o difunde en canales ruidosos. A título de ejemplo, la presente invención puede ser llevada a la práctica en los receptores desplegados en las instalaciones de telelectura. Una instalación de telelectura comprende convencionalmente varios dispositivos de conteo, por ejemplo contadores de agua, de gas, de electricidad o, más generalmente, de fluido o de energía, así como sistemas de pasarela que se comunican, por una parte, con los dispositivos de conteo y, por otra, con una red de telecomunicaciones externa.

15 Los dispositivos de conteo transmiten, hacia uno o varios sistemas de pasarela de la instalación, datos de conteo, por ejemplo datos de consumo de agua. Cada sistema de pasarela transmite los datos de conteo hacia la red de telecomunicaciones. Los datos así recogidos se pueden analizar a continuación, por ejemplo con el fin de detectar las ocasionales fugas u otros fallos, y asimismo con fines de facturación del cliente.

Los dispositivos de conteo comprenden un módulo de conteo de datos de consumo de fluido o de energía y un módulo de radiofrecuencia para comunicarse con el o los sistemas de pasarela vecino(s). Este módulo de radiofrecuencia puede, por ejemplo, emitir ondas de relativamente corto alcance, por ejemplo a 169 MHz, o bien, también, a 433 MHz u 868 MHz.

20 Un sistema de pasarela comprende un dispositivo concentrador, o armario de recogida, instalado por ejemplo dentro de un local técnico de edificio, y un (o varios) dispositivo(s) de emisión/recepción de radiofrecuencia, instalado(s) por ejemplo en el tejado del edificio, para comunicarse con los módulos de radiofrecuencia de los dispositivos de conteo.

Así, una instalación de telelectura recurre a técnicas de transmisión digitales bien conocidas y que son objeto de estándares publicados, por ejemplo, por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute, en inglés).

25 De manera general, un sistema de transmisión digital conduce información utilizando un soporte físico tal como el cable, la fibra óptica o la propagación en un canal radioeléctrico. Se designará tal soporte físico con el término canal. Convencionalmente, tal sistema exige una verificación de la integridad de las tramas recibidas y, para conseguir esto, comprende, en la transmisión, una codificación de control de integridad, por ejemplo por medio de bits de control de redundancia cíclica, que permite detectar los errores de transmisión de trama. La función de codificación de control de integridad consiste, para el dispositivo emisor en una transmisión de datos, en ejecutar un cálculo para crear los bits de control, adjuntos a los datos transmitidos, que, en la decodificación en la recepción, van a permitir al receptor, a partir de la información que llega a destino, ocasionalmente desvirtuada por las perturbaciones que intervienen en el canal, especialmente de tipo ruido, atenuaciones e interferencias, y después de haber efectuado el mismo cálculo, verificar la integridad de la trama recibida y determinar así si la transmisión se puede considerar o no como correcta.

30 En una instalación de telelectura tal como se ha mencionado anteriormente, que permite recoger datos de consumo de fluido o de energía, cada uno de los contadores procede a la transmisión, a intervalos más o menos regulares, de los datos organizados en tramas, típicamente de tamaño del orden de algunas decenas de bytes. El principal factor de mérito de un receptor del lado sistema de pasarela en una instalación radica en su capacidad para poder identificar correctamente cada una de las tramas emitidas por los diferentes contadores que se habrán asignado a un canal de recepción dado. Ahora bien, la grandísima variabilidad de las condiciones de propagación entre los contadores y el receptor del lado pasarela conduce a una distribución muy amplia de la energía efectivamente recogida con origen en el emisor de una trama. Así pues, por causa de la inevitable presencia de ruido aditivo, el desempeño del receptor se mide por su capacidad para recibir tramas en presencia de ruido aditivo de banda ancha, típicamente caracterizada por una longitud de trama dada en cuanto a tasa de errores de bit para una relación señal a ruido dada, la cual depende de manera crucial del nivel de energía por bit de información efectivamente recogido al cual anteriormente se hace mención.

35 Un receptor convencionalmente procede a la codificación del código corrector de errores aplicado en transmisión. Cuando hay malas condiciones de transmisión, es decir, para condiciones de transmisión de relación señal a ruido baja, ocurre que el procedimiento de decodificación no pueda corregir todos los errores que afectan a la trama recibida. Según la terminología usual, se contabilizan con el nombre de errores de primera especie los acontecimientos correspondientes a los casos en que una trama efectivamente transmitida no es decodificada correctamente por el receptor. Desde la óptica de diseñar un receptor eficiente, por supuesto interesa procurar minimizar la tasa media de errores de primera especie (la cual es fácil de definir, así como de medir sin ambigüedad para un escenario dado de perturbaciones del canal de transmisión, tal como la presencia de un ruido blanco aditivo), por cuanto que la decodificación de una trama errónea habrá pesado inútilmente en los recursos del receptor, tanto en cuanto a energía consumida como a tiempo de latencia.

Sin embargo, la realidad es que este objetivo encaminado a minimizar la tasa media de errores de primera especie conduce a la puesta en práctica de medios que tienden a aumentar la frecuencia media de los errores llamados de segunda especie, relativos a los acontecimientos correspondientes a los casos en que el receptor se ve conducido a "inventar" una trama presuntamente correctamente recibida, mientras que, en realidad, no hay presencia de señal alguna que no sea perturbaciones del canal procedentes de las fluctuaciones erráticas debidas al ruido así como a las diversas señales parásitas. Al no tener estos errores de segunda especie, por naturaleza, una relación directa con la emisión de tramas, lo usual es cuantificarlos en forma de un tiempo medio entre acontecimientos sucesivos en vez de en forma de una tasa o razón cualquiera. Sea como fuere, tal error de segunda especie, que se traduce en la activación intempestiva de diversos mecanismos internos al receptor, por lo común resulta de la conjunción de dos factores, que están vinculados, por una parte, a la decisión de tratar de demodular una trama como consecuencia de la detección de lo que tiene la apariencia de un inicio de trama y, por otra, la clasificación como suficientemente plausible del contenido de dicha trama candidata, habida cuenta del conocimiento *a priori* de su estructura.

De este modo, cabría contemplar minimizar los errores de segunda especie previendo no desencadenar las operaciones de recepción de trama sino cuando la verosimilitud de la presencia de un inicio de trama es suficientemente elevada, habida cuenta de la señal recibida por el receptor. Sin embargo, el hecho de exigir en este caso un valor más elevado de dicha verosimilitud conduce inevitablemente a aumentar la probabilidad de no cumplir estas exigencias de verosimilitud así incrementadas en el tratamiento de señales que representan una trama efectivamente emitida, aunque recibida afectada por perturbaciones tales como ruido aditivo u otras. De este modo, de ello resulta irremediablemente un aumento indeseable de los errores de primera especie, lo cual equivale a degradar la sensibilidad efectiva del receptor.

A efectos prácticos, se trata de efectuar un compromiso entre los objetivos contradictorios de minimización de los respectivos errores de primera y de segunda especie.

Es conocido, por los documentos US 6071823 o EP 1819058, un procedimiento de detección y corrección de errores con el concurso de un código de redundancia cíclica (CRC), que comprende una etapa de inversión de secuencias de bits de poca fiabilidad para generar secuencias probadas con el concurso del CRC.

Es asimismo conocido, por el documento de Ueda H et al.: "A Method of Improving Misframe for HEC-Based Variable Length Frame Suitable for IP Services", Electronics & Communications in Japan, Part 1, Wiley, vol. 86, núm. 6, enero de 2003, páginas 46-58, un procedimiento de detección y corrección utilizando un CRC, siendo asimismo utilizado este último para probar varias longitudes de trama.

Así pues, un problema que se plantea y que se encamina a solucionar la presente invención es proponer un procedimiento de recepción de datos digitales, en particular, en una instalación de telelectura, que permita obtener una corrección de errores muy eficiente, al tiempo que aumenta la sensibilidad del receptor.

Con el propósito de solucionar este problema, la presente invención propone un procedimiento de recepción de datos digitales transmitidos por tramas utilizando una codificación de control de integridad mediante el cual, antes de una etapa de transmisión de una trama en un canal, se agrega a la trama una información suplementaria de validación de trama creada con el concurso de dicho código de control de integridad y, después de dicha etapa de transmisión en dicho canal, se procede a una estimación de la trama recibida por medio de una unidad de decodificación que permite determinar una trama de referencia mediante decisiones firmes en lo referente al valor de cada bit recibido de una sucesión de bits de longitud N considerada, y se procede a una verificación de la compatibilidad de dicha trama de referencia proporcionada por las decisiones firmes con dicha codificación de control de integridad utilizada, caracterizándose dicho procedimiento por que comprende unas etapas consistentes, para cada trama recibida:

- en calcular, para cada bit de dicha trama de referencia proporcionada por las decisiones firmes, un valor de verosimilitud del valor del bit recibido, representativo de la probabilidad de error de transmisión para los bits considerados;

y, en caso de no compatibilidad de dicha trama de referencia con dicha codificación de control de integridad:

- en identificar, dentro de dicha trama de referencia, un conjunto finito no vacío de bits más verosímelmente erróneos en función de dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit;
- en enumerar una pluralidad de tramas candidatas respectivamente correspondientes cada una de ellas a una de las posibles combinaciones de número de inversiones de los bits más verosímelmente erróneos identificados dentro de dicha trama de referencia;
- en verificar la compatibilidad de las tramas candidatas de dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas con dicha codificación de control de integridad;

- en seleccionar una trama candidata compatible con dicha codificación de control de integridad,

comprendiendo además dicho procedimiento unas etapas consistentes en recibir un primer conjunto de bits que da la longitud de la trama, en considerar al menos dos valores candidatos de longitud de trama determinados en función de los valores de verosimilitud calculados para cada bit de dicho primer conjunto de bits, y en proceder a la estimación de la trama recibida en orden creciente de las longitudes de trama consideradas, sucesivamente.

- 5 Tratándose de la aplicación de la presente invención en el campo de la telelectura, dadas las longitudes de trama consideradas, el número típico de miembros del conjunto finito no vacío antes comentado es del orden de algunas unidades, oscilando por ejemplo entre uno y tres o cuatro.

- 10 De acuerdo con una forma de realización, el procedimiento comprende unas etapas consistentes en ordenar la enumeración de cada trama candidata por orden creciente de su fiabilidad y por orden creciente del número de inversiones de los bits más verosimilmente erróneos identificados dentro de dicha trama de referencia, y en verificar iterativamente la compatibilidad de las tramas candidatas así ordenadas, al objeto de parar las iteraciones en cuanto se verifica una trama candidata compatible con dicha codificación de control de integridad, mediante lo cual dicha trama candidata seleccionada es aquella de la iteración actual.

Como variante, el procedimiento puede comprender unas etapas consistentes:

- 15 - en determinar, para cada trama candidata de dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas, una puntuación de fiabilidad resultante de la suma de dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit, ponderados en función del valor del bit correspondiente dentro de dicha trama candidata;
- 20 - en seleccionar la trama candidata, de entre dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas, que maximiza dicha puntuación de fiabilidad a la vez que es compatible con dicha codificación de control de integridad.

Preferentemente, dichos al menos dos valores candidatos de longitud de trama considerados comprenden un primer valor candidato de longitud de trama obtenido mediante decisiones firmes en lo referente al valor de cada bit recibido de dicho primer conjunto de bits y un segundo valor candidato de longitud de trama obtenido por inversión del bit más verosimilmente erróneo de dicho primer conjunto de bits.

- 25 Ventajosamente, la identificación, dentro de dicha trama de referencia, de dicho conjunto finito no vacío de bits más verosimilmente erróneos consiste en memorizar, desde el inicio de recepción de la trama, un conjunto de información que comprende al menos la posición de los bits de que se trate dentro de la trama y el valor de verosimilitud asociado, y en actualizar dicho conjunto de información tras la recepción de cada bit suplementario, consistiendo dicha actualización en comparar el valor de verosimilitud asociado a dicho bit suplementario recibido
- 30 con el mayor en valor absoluto de los valores de verosimilitud previamente memorizados, y en modificar dicho conjunto de información, al objeto de sustituir la más fiable de las posiciones memorizadas por la posición de dicho bit suplementario recibido si el mismo resulta ser menos fiable.

- 35 Preferentemente, dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit recibido resultan del cálculo del coeficiente de verosimilitud logarítmica del valor del bit recibido, definido por el logaritmo de la relación de la probabilidad condicional de que el bit recibido esté en un primer estado, habida cuenta del valor del bit recibido, a la probabilidad condicional de que el bit recibido esté en un segundo estado, habida cuenta de este mismo valor del bit recibido.

De acuerdo con una forma de realización, dicha codificación de control de integridad se efectúa mediante una codificación de control de redundancia cíclica.

- 40 Como variante, dicha codificación de control de integridad se efectúa mediante un algoritmo de obtención de resumen.

- 45 Preferentemente, el procedimiento se lleva a la práctica mediante un dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia de un sistema de pasarela en una instalación de telelectura que comprende además una pluralidad de dispositivos de conteo, comprendiendo cada dispositivo de conteo un módulo de conteo y un módulo de radiofrecuencia para transmitir datos con destino a dicho dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia de dicho sistema de pasarela.

- 50 Se propone además un programa de ordenador que comprende instrucciones para efectuar las etapas del procedimiento según la invención cuando estas instrucciones son ejecutadas por un procesador. Este programa de ordenador puede, por ejemplo, estar almacenado en un soporte de memoria del tipo disco duro u otro, o bien, también, ser descargado, etc.

Se propone además un dispositivo de recepción de datos digitales que comprende medios de soporte físico y/o lógico para la puesta en práctica del procedimiento según la invención.

En particular, se propone un dispositivo de recepción de datos digitales transmitidos por tramas utilizando una codificación de control de integridad, del tipo que comprende una unidad de decodificación establecida al objeto de

proporcionar a su salida decisiones firmes en lo referente al valor de cada bit recibido de una sucesión de bits de longitud N considerada, constituyendo el conjunto de dichas decisiones firmes una trama de referencia correspondiente a una estimación de una trama recibida, y una unidad de control establecida para calcular una información de validación de trama apta para proporcionar una indicación de la compatibilidad de la trama recibida con dicha codificación de control de integridad utilizada, caracterizándose dicho dispositivo por que dicha unidad de decodificación comprende:

- medios de cálculo de un valor de verosimilitud del valor del bit recibido, representativo de la probabilidad de error de transmisión para cada bit recibido de dicha trama de referencia,
- medios de memorización de un conjunto finito no vacío de bits más verosímilmente erróneos de dicha trama de referencia en función de dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit,
- medios de decisión establecidos para enumerar una pluralidad de tramas candidatas respectivamente correspondientes cada una de ellas a una de las posibles combinaciones de número de inversiones de los bits más verosímilmente erróneos, estando dicha unidad de control diseñada para verificar la compatibilidad de las tramas candidatas de dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas con dicha codificación de control de integridad, estableciéndose dichos medios de decisión para seleccionar una trama candidata compatible con dicha codificación de control de integridad con el fin de estimar la trama recibida, estando, además, dicha unidad de decodificación adaptada para recibir un primer conjunto de bits que da la longitud de la trama, considerar al menos dos valores candidatos de longitud de trama determinados en función de los valores de verosimilitud calculados para cada bit de dicho primer conjunto de bits y proceder a la estimación de la trama recibida en orden creciente de las longitudes de trama consideradas, sucesivamente.

El dispositivo de recepción puede comprender un procesador, por ejemplo un DSP (del inglés "Digital Signal Processing"), un microcontrolador, un microprocesador u otro.

Se propone además un sistema de pasarela para una instalación de telelectura, comprendiendo dicho sistema de pasarela al menos un dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia para comunicarse con una pluralidad de dispositivos de conteo de dicha instalación de telelectura, comprendiendo dicho dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia un dispositivo de recepción tal y como se ha descrito anteriormente.

Se propone además un dispositivo de conteo para una instalación de telelectura del tipo que comprende un módulo de conteo establecido para medir datos de consumo de fluido o de energía, y un módulo de radiofrecuencia para comunicarse con un dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia de un sistema de pasarela de dicha instalación de telelectura, comprendiendo dicho módulo de radiofrecuencia un dispositivo de recepción tal y como se ha descrito anteriormente.

Se propone además una instalación de telelectura que comprende varios dispositivos de conteo tales como se han descrito anteriormente y al menos un sistema de pasarela tal y como se ha descrito anteriormente.

Otras particularidades y ventajas de la invención se desprenderán con la lectura de la descripción que a continuación se hace de una forma particular de realización de la invención, dada a título indicativo pero no limitativo, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

la figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de una arquitectura funcional susceptible de ser implementada en un receptor puesto en práctica en una instalación de telelectura según la invención.

Una instalación de telelectura comprende convencionalmente un parque de dispositivos de conteo o contadores. Cada contador comprende un módulo de conteo establecido para medir un volumen de agua, un volumen de gas, un consumo eléctrico u otro, y un módulo de radiofrecuencia para comunicarse con un dispositivo de emisión/recepción/radiofrecuencia de un sistema de pasarela de la instalación. Más generalmente, los módulos de conteo del dispositivo de conteo se pueden establecer para medir un consumo de fluido o de energía u otro, o bien, también, para medir un valor de parámetros. Los módulos de conteo pueden, por ejemplo, comprender sensores, por ejemplo de temperatura, de nivel u otro.

Convencionalmente, uno o varios sistemas de pasarela de la instalación se comunican, por una parte, con los dispositivos de conteo por intermedio de uno o varios dispositivos de emisión/recepción de radiofrecuencia y, por otra, con una red de telecomunicaciones externa, por intermedio de un dispositivo concentrador. Cada sistema de pasarela transmite los datos de conteo recibidos de los dispositivos de conteo hacia la red de telecomunicaciones externa.

En orden a ayudar a una mejor comprensión del procedimiento y del receptor según la invención, la descripción que sigue viene dada a título ilustrativo y de modo alguno limitativo para una instalación de telelectura establecida para la recogida de la información de estado de contadores que hacen uso de una banda de frecuencia llamada ISM, definida en la norma EN 55011, situada en la proximidad de 169 MHz, y que utilizan un formato de transmisión de banda estrecha basado en una modulación de frecuencia de índice próximo a 2 (que representa el número de

estados de fase) con una temporización de símbolo de 2400 bits por segundo, lo cual significa que la frecuencia de la portadora radiada por un contador durante sus períodos de actividad se encuentra desfasada de su valor central que caracteriza la señal asignada al contador, en más o menos 2,4 kHz durante cada período  $T = 1/2400$  segundos, correspondiente a la transmisión de un bit, dependiendo el signo de la desviación del valor de dicho bit que ha de transmitirse.

Antes de detallar un ejemplo de puesta en práctica del procedimiento según la invención, se insistirá en unas ideas relativas a la forma de onda. Las tramas emitidas por los contadores presentan un formato *a priori* conocido por el receptor. La trama incluye, por ejemplo, una parte dedicada para la sincronización de la trama y varias partes relativas a los datos de información útil que ha de transmitirse. Así, incluye una parte de preámbulo formada a partir de algunas decenas de bits sobre los cuales el receptor realiza, por ejemplo, una correlación que permite la detección de un inicio de trama en el rebasamiento de un umbral. La parte de preámbulo puede servir asimismo para la estimación de algunos parámetros esenciales para la continuación de las operaciones tales como la sincronización temporal precisa, así como la frecuencia central aparente tal y como resulta de los errores de generación de sincronismo acumulados de los osciladores locales del emisor del contador así como del receptor. La trama incluye a continuación un campo longitud típicamente de 8 bits, que indica la longitud útil  $N$  de la trama contada en bytes. Seguidamente, la trama incluye los  $N$  bytes que representan la información útil de la trama y, finalmente, bits de control de redundancia cíclica (CRC), codificado típicamente en dos bytes, referentes al campo longitud así como al contenido de información útil de la trama, esto es, un total de  $N+1$  bytes. De este modo, el control de integridad de la trama recibida reside, en este ejemplo, en la agregación de dos bytes calculados típicamente como el resto de una división polinómica binaria referente a la concatenación del campo longitud y del contenido de información útil de la trama. Comúnmente, el uso de los dos bytes de CRC consiste en una mera verificación de la integridad de la trama recibida, de modo que un fracaso en esta etapa de verificación del lado receptor indica de manera inequívoca la existencia de al menos un error en la parte de información útil de la trama o en los dos bytes de control.

Interesa señalar que, en el campo de las telecomunicaciones, está extendido el uso de otros procedimientos de control de integridad que llegan a resultados similares. Se citará, a título de ejemplo, la agregación de información de validación de trama que hace uso de funciones llamadas de resumen tales como, por ejemplo, las conocidas con los nombres de MD5 y SHA-1. Sea como fuere, se comprenderá en lo sucesivo que el procedimiento de la invención es aplicable en la recepción de una trama a partir del instante en que exista información suplementaria de validación de la trama, cumpliendo una misión similar a la de los bytes de CRC y que pueda ser utilizada por intermedio de un cálculo adecuado para validar, entendiéndose de manera probabilística, la integridad de una trama y de dicha información suplementaria.

La trama puede incluir todavía, con carácter facultativo, un postámbulo constante que indique el final de la trama.

La figura 1 ilustra una arquitectura funcional convencional de un receptor heterodino, basándose en la cual se puede llevar a la práctica el procedimiento de la invención, entendiéndose que otras arquitecturas típicas también podrían dar soporte al procedimiento de la invención y ser objeto de modificaciones similares a las que seguidamente van a describirse con referencia a la arquitectura de receptor según el ejemplo de la figura 1.

De este modo, de acuerdo con el ejemplo de la figura 1, la señal transmitida es captada primero por una antena 10 del receptor y, luego, transmitida al bloque analógico de la cadena de recepción, que comprende un amplificador de bajo ruido 20 (LNA), un oscilador local 31, así como un mezclador 30. Estos elementos, al no verse modificado su funcionamiento dentro del contexto de la presente invención, no serán objeto de una descripción más detenida.

Se hace notar simplemente que el mezclador 30, que en su primera entrada recibe la señal saliente del amplificador LNA 20, recibe en su segunda entrada, conectada al oscilador local 31, una frecuencia correspondiente a la frecuencia portadora de la señal. Esto tiene el efecto de devolver la señal a banda base. El ejemplo dado en este punto reside en una nueva bajada a banda base, pero no es en modo alguno limitativo, entendiéndose que también podrían llevarse a cabo otras elecciones corrientes (tales como la selección de una última frecuencia intermedia baja pero no nula). De acuerdo con este ejemplo, disponemos, pues, a la salida del mezclador 30, del mensaje binario en forma continua en banda base, añadido a una componente de alta frecuencia centrada en dos veces la frecuencia portadora. En efecto, esta operación de demodulación pone de manifiesto el motivo espectral de la señal en banda base, pero también a dos veces la frecuencia de la portadora. Así pues, una etapa de filtrado paso bajo 40 a la salida del mezclador 30 permite eliminar la distorsión armónica debida a la redundancia del espectro en la demodulación de la señal. La señal filtrada se digitaliza a continuación mediante un convertidor analógico/digital 50 que proporciona una sucesión de bits constitutiva de la trama recibida.

Los datos recibidos por el receptor son, en general, datos ruidosos. Así pues, se puede introducir en recepción una decodificación, para tomar en consideración el hecho de que ciertos datos recibidos son más inequívocos que otros. De este modo, para cada sucesión de bits considerada, una unidad de decodificación 60, también llamada de decisión, y denominada en la figura 1 "prueba de hipótesis", proporciona a su salida una decisión binaria por período de símbolo  $T$  (igual a  $1/2400$  segundos, correspondiente a la transmisión de un bit en el contexto del ejemplo dado más arriba). Tal etapa de decodificación 60 permite tomar una decisión firme en lo referente al valor de un bit de salida, es decir,  $x = 0$  o bien  $x = 1$ , por bit entrante.

El flujo de bits a la salida se memoriza al objeto de introducir el valor del campo longitud de la trama recibida en un bloque de memoria 70, y se utiliza una señal de inicio de trama proporcionada por un bloque de detección 80 del preámbulo de la trama para inicializar una unidad de control 90 diseñada para calcular el CRC para la trama que sigue. El resultado del cálculo de CRC se agrega a los bits recibidos para validar o no el contenido de la trama recibida de manera secuencial.

Por lo tanto, tal como se ha indicado más arriba, se hace un uso común de los dos bytes de CRC, procediendo a una simple verificación de la integridad supuesta de la trama recibida. Fácilmente se comprende, dadas, por lo demás, las mismas circunstancias, es decir, a idénticas prestaciones de detección de inicio de trama y de decodificación en decisión firme, que tal uso de los dos bytes de CRC permite limitar el número medio de veces que el receptor va a verse llevado a pretender haber recibido una trama, aunque no se hubiera recibido señal alguna de este tipo. Se ha visto que no era deseable encaminarse a una disminución de estos errores de segunda especie valiéndose especialmente del valor de un umbral de confianza mínima para la detección del preámbulo de una trama, por cuanto que este tipo de modificación lleva consigo un aumento indeseable de los errores de primera especie y, por ende, una disminución de la sensibilidad del receptor.

Así pues, de conformidad con la invención, la arquitectura típica del receptor ilustrada en la figura 1 se va a modificar al objeto de obtener un desplazamiento del compromiso entre los dos tipos de error en el otro sentido. Así, se va a dar preferencia a la sensibilidad del receptor y, así, a recibir más tramas de las que acostumbra permitirse tratar, inclusive tramas erróneas, es decir, que no cumplen las imposiciones inducidas por los bytes de CRC, a sabiendas de que, procediendo según los principios de la invención que seguidamente van a detallarse, se podrán tratar los errores en orden a limitar el aumento que de la frecuencia media de errores de segunda especie se espera normalmente en este contexto. En otras palabras, la invención va a permitir mejorar el nivel de corrección sobre los errores de primera especie, aceptando una razonable degradación en cuanto a errores de segunda especie.

En primera instancia, la etapa de decodificación 60 se modifica en orden a proporcionar a su salida, no solo la decisión binaria derivada de una toma de decisión firme en lo referente al valor del bit recibido durante el período de símbolo correspondiente, sino también un valor cuantitativo preciso de los grados de verosimilitud condicional adscrito a qué hipótesis resulta ser la más verosímil (a saber, el bit actual  $x = 0$  o  $x = 1$ ). Dicho de otro modo, conviene mantener decisiones llamadas flexibles, por oposición a las decisiones firmes que se limitan a un simple bit con valor 0 ó 1.

De este modo, el procedimiento consiste, en primera instancia, para cada sucesión de bits considerada, en calcular el valor de una decisión flexible, representando este valor de decisión flexible la verosimilitud del valor de decisión firme mencionado anteriormente.

La representación más corriente de una decisión flexible para una prueba de hipótesis binaria consiste en el dato del coeficiente de verosimilitud logarítmica definido por:

$$d = \log \frac{P(0|_r)}{P(1|_r)}$$

donde la barra vertical separa, según la usanza, la hipótesis considerada del conjunto de las observables condicionalmente a las que se mide la probabilidad. De este modo, el coeficiente de verosimilitud logarítmica  $d$  proporciona un valor cuantitativo de verosimilitud del valor del bit recibido, definido como el logaritmo de la relación de la probabilidad condicional del valor del bit  $x = 0$  condicional al valor  $r$  de la señal recibida a la probabilidad condicional del valor del bit  $x = 1$  condicional a este mismo valor  $r$  de señal recibida.

Para ilustrar el significado de la expresión de este valor cuantitativo de verosimilitud, consideremos un sistema de transmisión en el que la señal transmitida es real y constante con valor  $\pm \sqrt{E_b/T}$  a lo largo de cada intervalo de tiempo de una duración  $T$ , donde el signo depende de un bit de información útil (atribuyéndose el signo + convencionalmente a los bits '0'), representando la inversa de  $T$  el caudal de información en bits por segundo y siendo  $E_b$  un número constante homogéneo a la energía otorgada a la transmisión de un bit. Suponemos disponible una versión ruidosa de la señal transmitida, suponiéndose blanco y de densidad espectral bilateral  $N_0$  el ruido aditivo considerado. Para este modelo de un sistema de transmisión con dos estados de fase (usualmente denominado MDP2 o BPSK en las bibliografías francesa y anglosajona), se muestra que:

- las pruebas de cada una de las hipótesis relativas a los bits sucesivos son problemas independientes entre sí;
- una estadística suficiente para cada uno de estos problemas sucesivos se reduce a la evaluación del valor medio  $r$  de la señal ruidosa recibida en el período de duración  $T$  correspondiente;
- la relación de verosimilitud logarítmica para el bit en cuestión es directamente proporcional a la única observable pertinente  $r$ .

Se observará que  $r$  es una variable aleatoria gaussiana de media  $\pm \sqrt{E_b/T}$ , dependiendo el signo de dicha media del bit transmitido, con asignación de un término aditivo de media nula y de varianza  $N_0T/2$ .

La tasa de error por decisión binaria es, pues, igual a la probabilidad de que el ruido aditivo resulte ser suficientemente grande para conducir a la observación de una señal media  $r$  que sea del signo opuesto al del bit transmitido, lo cual ocurre con una probabilidad  $p$  dada para un '0' emitido por la siguiente expresión:

$$p = P(r < 0) = Q(\sqrt{2E_b / N_0})$$

$$Q(x) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$$

La función  $Q$  en la anterior expresión es la 'cola de gaussiana' que da la probabilidad de que una variable normal de media nula y de desviación típica la unidad sobrepase  $x$ , y la expresión proporcionada por la tasa de error de bits  $p$  no deja de ser válida, por supuesto, por simetría cuando es emitido un '1'.

Así, el receptor según la invención está diseñado para memorizar los coeficientes de verosimilitud logarítmica de los valores de cada uno de los bits recibidos de una sucesión de bits considerada. Asumamos que la introducción del campo longitud  $N$  de la trama recibida proporciona el valor correcto de la longitud útil de trama y que la trama comprende 16 bits de CRC según el ejemplo expuesto más arriba, entonces el número total de bits pertinentes para  $N$  expresado en bytes que, por tanto, vale  $M = 8.N + 16$ .

Por lo tanto, el receptor procede al cálculo de los  $M$  coeficientes de verosimilitud logarítmica asociados a los  $M$  bits, que se denotarán en lo que sigue por  $r = \{r_1, \dots, r_M\}$ . Habida cuenta de la ya mencionada independencia estadística de los  $M$  problemas de decisión, la probabilidad de que la sucesión de  $M$  bits efectivamente emitida sea igual a un vector  $b = \{b_1, \dots, b_M\}$  dado, a sabiendas de lo que se ha observado, a saber,  $r$ , resulta ser, según la regla de Bayes, una función creciente de la cantidad:

$$s = b_1r_1 + b_2r_2 + \dots + b_Mr_M \quad (1)$$

expresión en la que las hipótesis  $b_i$  están representadas de la forma '+1' para un bit a 0 y '-1' para un bit a 1, según una convención homogénea con el formato de transmisión supuesto.

Por lo tanto, la trama más probable se corresponde con la elección del vector  $b$  que maximiza la suma  $s$  que aparece en la anterior expresión (1). Por supuesto, la combinación que maximiza  $s$  es aquella que asegura que cada uno de los términos  $b_i r_i$  es positivo, lo cual equivale a escoger  $b_i$  según el signo del correspondiente  $r_i$ . Tal combinación es esencialmente única, a no ser que se considere que uno o varios de los valores  $r_i$  resulta ser nulo, lo cual corresponde a una incertidumbre total sobre el valor del bit  $b_i$  correspondiente.

Un receptor convencional procede según esta elección para estimar la trama recibida, por cuanto que este conjunto de decisiones firmes formado por el vector  $b$  que maximiza la suma  $s$  constituye la única hipótesis de entre las  $2^M$  combinaciones *a priori* posibles susceptibles de ser contempladas. Motivo por el que no hay razón particular para que el receptor convencional preserve el conjunto de los valores  $r_i$  de coeficientes de verosimilitud logarítmica asociados a los  $M$  bits recibidos.

Para un experto en la materia, no era en absoluto fácil ni incluso previsible que, precisamente, pudiera haber interés en preservar el conjunto de estos valores de coeficientes de verosimilitud logarítmica para validar otras hipótesis para la trama recibida que no fuera la de la trama de referencia proporcionada por la sucesión de bits correspondiente a las decisiones firmes. En efecto, se hubiera podido temer ocupar inútilmente recursos del receptor a tal efecto, como quiera que la elección, para la trama más probable, de la trama de referencia correspondiente a las decisiones firmes que maximiza la suma  $s$  es la elección lógica y natural. En ello, la invención ha tenido que vencer un prejuicio.

A pesar de ello, siempre que la trama de referencia formada por la sucesión de bits correspondiente a las decisiones firmes resulte ser compatible con la codificación de control de integridad empleada, en este caso particular según el ejemplo, con la regla de cálculo de los dos bytes de redundancia cíclica, dicho de otro modo, si la hipótesis sobre la trama de referencia así estimada cumple con la prueba de CRC, el receptor entrega la trama resultante al mundo exterior. A esta sola condición, el comportamiento del receptor según la invención es idéntico al del receptor convencional.

Sin embargo, no puede decirse ya otro tanto cuando la hipótesis de partida relativa a la trama formada a partir del conjunto de las decisiones firmes resulta ser incompatible con la codificación de control de integridad y, por tanto, no cumple las imposiciones inducidas por los dos bytes de CRC. En tal supuesto, es seguro que uno al menos de los bits  $b_i$  proporcionados por las decisiones firmes es erróneo. Es entonces cuando la preservación de los valores  $r_i$  de coeficientes de verosimilitud logarítmica asociados a los  $M$  bits recibidos va a permitir, de acuerdo con la invención, contemplar otras hipótesis para corregir la estimación de la trama recibida, y ello a costa de un moderado esfuerzo



de cálculo suplementario, que se describe ahora con mayor detalle.

Como primer enfoque, cabría pensar en establecer una lista de las  $L = 2^M$  combinaciones posibles para la trama recibida y en clasificarla según los valores decrecientes de las sumas correspondientes según la anterior expresión (1). La estimación de la trama recibida al máximo de verosimilitud, sabiendo disponible el vector  $r$ , consistiría en seleccionar la primera entrada de la lista clasificada en cuestión que sea compatible con la codificación de control de integridad utilizada y, por tanto, que cumpla las imposiciones conocidas inducidas por la regla de cálculo de los bytes de redundancia cíclica según el ejemplo dado más arriba. Ahora bien, el orden de magnitud para la lista de las  $L$  combinaciones posibles es tal que evidentemente no permite la construcción efectiva de tal lista.

Por añadidura, en la práctica hay otro obstáculo ligado al número potencialmente elevado de tramas candidatas por evaluar antes de encontrar una que resulte ser legítima de cara a la compatibilidad con la regla de cálculo de los dos bytes de redundancia. Este fenómeno, en realidad, es intrínseco al problema, y el hecho de que la primera de las tramas candidatas que efectivamente cumpla las imposiciones ligadas a los bytes de redundancia pueda encontrarse perfectamente en una posición de rango muy elevado es ineludible. Nótese también que se proporciona la trama más probable sabiendo disponible el vector  $r$ , que alcanza así el valor al máximo de verosimilitud para la tasa de errores de primera especie. Según se ha comentado anteriormente, es inevitable que esta elección conduzca a un aumento, quizá inaceptable, de los errores de segunda especie.

De este modo, un experto en la materia que explore el anterior enfoque se ve apremiado por dos preocupaciones *a priori* desfavorables, que se traducen, por una parte, en el coste exorbitante en cuanto a recursos de cálculo y, por otra, en un compromiso manifiestamente desequilibrado entre los dos objetivos contradictorios de disminución de los respectivos errores de primera y segunda especie, en el que el tratamiento de los primeros se opera en detrimento de los segundos.

Así pues, superando estos prejuicios, la invención propone un método menos costoso y susceptible de ofrecer un compromiso más equilibrado entre los tratamientos de los dos tipos de error, según el cual se prevé concentrarse únicamente en las hipótesis susceptibles de figurar en buena posición dentro de la lista clasificada a la que más arriba se hace alusión. En otras palabras, se va a enumerar un subconjunto de tamaño razonable de tramas candidatas que tienen todas ellas, *a priori*, altas posibilidades de figurar en buena posición dentro de la clasificación ficticia de la gigantesca lista cuyo inventario, por motivos de complejidad, nos privamos de elaborar, y se va a examinar la compatibilidad de estas tramas candidatas con la regla de cálculo de los dos bytes de redundancia cíclica.

Está claro que, a la vista de la anterior expresión (1), una trama candidata que tan solo difiere de la trama de referencia formada a partir del conjunto de las decisiones firmes  $b_j = \text{signo}(r_{ij})$  en algunas posiciones  $i$  para las cuales los correspondientes coeficientes de verosimilitud logarítmica  $r_i$  son bajos, obtendrá una puntuación de fiabilidad que tan solo será moderadamente inferior a la puntuación de referencia que maximiza la suma  $s$ , a saber  $|r_1| + |r_2| + \dots + |r_m|$ .

Así pues, de acuerdo con una forma de realización, consiste un método efectivo para la enumeración de las tramas candidatas, en primera instancia, a partir de la trama de referencia formada a partir de decisiones firmes  $b_j = \text{signo}(r_{ij})$ , en seleccionar dos parámetros enteros  $k \leq m$  y en identificar los  $m$  menores valores  $r_i$  de coeficiente de verosimilitud logarítmica en valor absoluto. En otras palabras, únicamente vamos a interesarnos por los bits más verosímilmente erróneos para corregirlos y, así, evitar el crecimiento disparatado de errores de segunda especie. Entonces, la enumeración de las tramas candidatas consiste en clasificar preferiblemente por orden creciente los  $m$  menores valores  $r_i$  en valor absoluto que se han identificado, de modo que  $|r_1| \leq |r_2| \leq |r_3| \dots |r_m|$  y, finalmente, en enumerar todas las combinaciones posibles de número de inversiones  $c$  de entre  $m$  posiciones  $i_k$  empezando preferiblemente por los valores del índice  $k$  más bajos, dando la vuelta a las decisiones firmes  $b_j = -\text{signo}(r_{ij})$  para  $c$  valores de  $j$  de entre  $m$  y conservando las decisiones firmes para los demás bits con el fin de formar una nueva trama candidata, y ello para un número de posiciones que hayan de invertirse  $c = 0, 1, 2, \dots, k$ .

Preferentemente, con cada iteración de la anterior enumeración se procede a una verificación de la compatibilidad de la trama candidata de la iteración actual con las reglas de cálculo del código de control de redundancia cíclica, y se paran las iteraciones a partir del instante en que una trama candidata probada resulta ser legítima, es decir, presenta un CRC compatible con las reglas en vigor.

De este modo, de acuerdo con esta forma de realización, se procede por sucesivas aproximaciones, eliminando progresivamente las tramas candidatas enumeradas según la ordenación predefinida por orden creciente de su fiabilidad y por orden creciente del número de inversiones de los bits más verosímilmente erróneos, y conservando tan solo una gama restringida de hipótesis tendentes hacia la que es óptima.

Se encontrará seguidamente un ejemplo que ilustra esta forma de realización. Sea el conjunto de las tramas candidatas consideradas para una trama recibida cuando los parámetros de enumeración son  $m = 3$ ,  $k = 2$ . Para aligerar las notaciones, no se proporcionan más que las {posiciones de los bits} con las que difiere la trama

candidata por complementación del bit en cuestión de la trama de referencia proporcionada por las decisiones firmes. Los tres enteros  $i_1$  a  $i_3$  designan los tres bits menos fiables de la trama recibida.

Trama candidata	Número de inversiones	Comentarios
{}	0	Se empieza por la trama de referencia
{ $i_1$ }	1	Inversión del bit menos fiable
{ $i_2$ }	1	Paso al bit siguiente
{ $i_3$ }	1	...
{ $i_1, i_2$ }	2	Inversión de 2 bits dudosos
{ $i_1, i_3$ }	2	...
{ $i_2, i_3$ }	2	Última trama candidata

5 De acuerdo con esta forma de realización, interesa señalar que el orden en el que se examinan las tramas candidatas puede resultar ser importante, siempre que se paren las iteraciones en la primera trama candidata que verifica las reglas de cálculo de los bytes de CRC, entendiéndose que, incluso para valores moderados del número de inversiones  $c$ , puede ocurrir que resulten ser legítimas varias de tales tramas candidatas, es decir, presenten un CRC compatible. Este es el motivo por el que es deseable efectuar la enumeración de las tramas candidatas según la ordenación sugerida anteriormente, consistente en empezar la enumeración de las tramas candidatas por los índices  $k$  bajos, que se corresponden con los bits menos fiables, y en enumerar las combinaciones pocas inversiones antes de aquellas que comprenden numerosas inversiones, es decir, en iterar sobre el número de inversiones  $c$  en orden creciente.

10 No obstante, se hace notar que esto no garantiza que se enumeren las tramas candidatas por orden de puntuación resultante decreciente. De este modo, considerando el anterior ejemplo, si, por ejemplo, el tercer coeficiente de verosimilitud logarítmica sobrepasa en valor absoluto la suma de sus dos predecesores, esto es, si  $|r_{i_3}| > |r_{i_1}| + |r_{i_2}|$ , entonces, en este supuesto, la cuarta trama candidata  $\{i_3\}$  presentará una puntuación inferior a la quinta trama candidata  $\{i_1, i_2\}$ , a la vez que está enumerada antes, según la ordenación adoptada anteriormente. Así pues, partiendo de la hipótesis desfavorable de que las dos tramas candidatas en cuestión resultaran presentar un CRC compatible, el hecho de entregar la trama candidata  $\{i_3\}$  como resultado de la estimación de la trama recibida por el receptor conduciría a un error de segunda especie (es decir, una trama errónea) cuya primera causa sería, en este punto, más que una 'salida en falso' del receptor, una insuficiente sagacidad del receptor, asumiendo que una verdadera trama haya conducido efectivamente a la activación de la operativa descrita en este punto.

15 Así pues, una variante de la operativa de enumeración descrita en la anterior forma de realización consiste, en vez de pararse en la primera trama candidata legítima, en llevar a su término la operativa de enumeración de las tramas candidatas, en memorizar para cada trama candidata enumerada las correspondientes puntuaciones de fiabilidad y, seguidamente, en seleccionar a continuación la trama candidata que presente la puntuación de fiabilidad más elevada de entre las tramas candidatas legítimas.

20 En lo que antecede, se ha supuesto que el campo longitud de la trama era conocido de manera fiable. Por supuesto, los bits que forman el campo longitud experimentan los mismos efectos deletéreos debidos al ruido aditivo que los demás bits de la trama y son, a su vez, susceptibles de verse afectados por uno o varios errores. Habida cuenta de que el valor adoptado para el campo longitud influye decisivamente en la manera en que conviene calcular la conformidad de la información redundante (en este caso particular, los dos bytes de CRC en el caso del formato de trama utilizado en las instalaciones de recogida de información de estado de contadores, según el ejemplo dado más arriba), puede ser útil, para limitar las pérdidas, extender el beneficio de la fase de decisión final en lo que respecta a la información útil de la trama recibida al propio campo longitud.

25 Para conseguir esto, se prevé tratar el campo longitud separadamente del resto de la trama y reducirse a dos instancias del problema tratado anteriormente. Habida cuenta del muy reducido tamaño en bits del campo longitud (típicamente 8 bits para los formatos de transmisión corrientes), no es necesario considerar más de dos valores candidatos para el campo longitud recibido, si bien no queda en absoluto excluido, con todo, considerar más de dos valores candidatos para el campo longitud.

30 De este modo, tras la recepción de los 8 primeros bits, se consideran dos valores candidatos para el campo longitud, correspondiente uno a las 8 decisiones firmes, obtenido el otro por inversión del bit menos fiable de los 8 bits en cuestión. Sean  $N_1$  y  $N_2$  estos dos valores, con  $N_1 < N_2$ . Se procede a continuación a la recepción de los  $8.N_1 + 16$  bits

siguientes, identificando los  $m$  menores valores  $r_i$  de coeficiente de verosimilitud logarítmica en valor absoluto, en orden a proceder a una primera ejecución del proceso de selección de la trama candidata según los principios antes expuestos. En su variante simple, según la cual se considera haber recibido una trama válida a partir del instante en que una de las tramas candidatas enumeradas resulta ser legítima, es decir, resulta ser compatible con la codificación de control de integridad adoptada, nos paramos efectivamente si una de las tramas candidatas resulta que cumple este requisito. De no ser el caso, en otras palabras, ninguna trama candidata legítima identificada, entonces interesa contemplar la segunda hipótesis conservada para el campo longitud, a saber, la posibilidad de que  $N_2$  sea el valor candidato acertado para el campo longitud, en lugar de  $N_1$  conservado anteriormente, y se extiende la fase de recepción al objeto de recoger los  $N_2 - N_1$  bits faltantes, y se recomienza el proceso de selección de la trama candidata, esta vez basado en la mayor de las dos longitudes de trama contempladas.

En última instancia, la presente invención genera un sobrecoste mínimo, que resulta estar ligado a la necesidad de memorizar un conjunto de  $m$  informaciones que representan cada una de ellas una de las decisiones más verosimilmente erróneas, en otras palabras, las menos fiables, recibidas desde el inicio de la trama, a saber, como mínimo el rango del bit de que se trate  $i_j$  y el valor del coeficiente de verosimilitud logarítmica asociado  $r_{i_j}$ . La actualización de este conjunto de informaciones tras la recepción de un bit suplementario comprende operaciones elementales encaminadas a comparar el coeficiente de verosimilitud logarítmica del último bit recibido con el mayor, en valor absoluto, de los  $m$  valores preservados, y en reorganizar el conjunto en cuestión al objeto de mantener este conjunto de los  $m$  menores valores recibidos tratados de manera secuencial. Puede consistir una forma de realización para efectuar esta actualización en conservar una imagen de estos  $m$  valores menos fiables, ordenados por valores crecientes de su asociado coeficiente de verosimilitud logarítmica (o decrecientes), comprendiendo entonces la actualización, en la recepción de un nuevo elemento, la comparación con el último elemento (clasificación creciente) o el primer elemento (clasificación decreciente) y, de ser necesario, la aceptación del nuevo elemento y la inserción del mismo en el debido rango, al objeto de preservar la naturaleza ordenada del conjunto actualizado.

Vamos a describir ahora una forma preferida de realización para el cálculo de un CRC con el fin de proceder a la evaluación del CRC de las diferentes tramas candidatas correspondientes a los diferentes intentos de inversión de las decisiones firmes. A tal efecto, conviene precisar primero la naturaleza del cálculo de un CRC de 16 bits según el formato adoptado en el ejemplo citado más arriba de una instalación de recogida de información de estado de contadores.

Se señala con  $n$  el número total de bits intervinientes en el cálculo del CRC, esto es,  $n = 8 + 8.N$ , donde  $N$  es el valor supuesto del campo longitud dado por los 8 primeros bits, de modo que el cálculo de resto, que constituye el núcleo del algoritmo de codificación de control de integridad, consiste en efectuar una división euclidiana según se indica seguidamente:

$$g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

$$i(x) = (x^{16} + 1)/(x + 1) = x^{15} + x^{14} + x^{13} + \dots + x^2 + x + 1 \quad (2)$$

$$d_j(x) = x^j i(x) + b_1 x^{j-1} + b_2 x^{j-2} + \dots + b_{j-1} x + b_j$$

$$d_j(x) = q_j(x)g(x) + c_j(x), \text{deg}(c_j) < \text{deg}(g) = 16$$

Todos los polinomios considerados en este punto son de coeficientes dentro del cuerpo de dos elementos  $\{0, 1\}$  dotado de las operaciones usuales de la aritmética módulo 2. El polinomio  $g$  en la variable formal  $x$  es el generador del código cíclico subyacente, el polinomio  $d_j$  representa los  $j$  primeros datos binarios entrantes para los cuales se desea calcular el CRC representado por el resto  $c_j$  de la división euclidiana usual sobre el cuerpo binario de dos elementos definida por la cuarta línea de la ecuación (2) anterior, entendiéndose que el valor de los cocientes  $q$  no presenta ningún interés particular, representando sólo el resto  $c_n$  los 16 bits del resultado final tras la asimilación de todos los bits. El polinomio constante  $i(x)$  cumple la función de una constante aditiva cuyo efecto es el de repercutir en el resultado final, de modo que ninguna de las dos sucesiones de informaciones  $\{b_j\}$  particulares formadas exclusivamente a partir de  $n$  ceros y de  $n$  unos, respectivamente, proporcione un resto  $c$  formado a su vez exclusivamente de ceros o de unos. Aunque la ecuación (2) mencione todos los resultados intermedios, tan solo nos ocupará únicamente el valor final cuando  $j = n$ .

El cálculo del resto  $c_j$  se puede realizar en la práctica de manera iterativa como sigue. Se inicializa un registro  $c$  de 16 bits (que representaremos en este punto con los coeficientes de las potencias de  $x$  elevadas a la izquierda / en primer lugar) al valor 1111111111111111, que corresponde a la constante  $i(x)$ . El registro  $c$  en cuestión representa el valor del resultado intermedio  $c_j$  después de haber recibido  $j$  bits, y el anterior valor inicial corresponde a  $j = 0$ .

A continuación, para los valores sucesivos del índice  $j$  que van de 1 a  $n$ , se incorpora la contribución del bit  $b_j$  procediendo como sigue: se multiplica  $c_j$  por  $x$ , lo cual equivale a un desplazamiento hacia la izquierda de un puesto, y se le añade el polinomio  $b_j x^0$ , lo cual equivale a sustituir el bit de la derecha del registro  $c_j$  por el bit entrante  $b_j$ . Si este resultado intermedio incluye un término en  $x^{16}$  no nulo, se añade (en el sentido del cuerpo de dos elementos) el polinomio  $g$  a  $c_j$  al objeto de anular este término en  $x^{16}$  y de mantener la propiedad deseada  $\text{deg}(c_j) < 16$ . Esta

adición se realiza en la práctica mediante una operación de tipo O-exclusivo bit a bit entre el registro  $c_j$  desplazado 1 bit hacia la izquierda y la constante  $g$  representada como (1)0001000000100101, donde se ha indicado entre paréntesis el coeficiente en  $x^{16}$  que no interviene, visto que el registro  $c_j$  tan solo necesita 16 bits.

5 Es muy fácil verificar por recurrencia sobre el índice  $j$  que el valor actualizado según este procedimiento de  $c_j$  es realmente el definido por la ecuación (4), de modo que, después de  $n$  tales operaciones, el resultado  $c_n$  es realmente el CRC deseado.

10 Es posible agregar a cada una de las  $m$  informaciones preservadas, que caracterizan las  $m$  posiciones binarias menos fiables halladas hasta la posición actual, un registro de 16 bits que proporcione el cambio del resultado final  $c_n$  (en forma de o-exclusivos bit a bit referentes a las 16 posiciones binarias) en el supuesto de que nos viéramos llevados a invertir la correspondiente decisión firme.

15 Interesa entonces inicializar el registro de 16 bits correspondiente con el valor constante 0000000000000001 cuando el coeficiente de verosimilitud logarítmica actual  $r_j$  es suficientemente bajo en valor absoluto para integrar el subconjunto de las posiciones menos fiables que se preserva para la fase de decisión final. Interesa asimismo actualizar los  $m$  registros de 16 bits correspondientes a los ocasionales cambios del CRC final en la asimilación de los restantes datos entrantes.

La fase activa de enumeración de las hipótesis sobre la trama final puede quedar reducida entonces a operaciones muy simples encaminadas a modificar el CRC de la trama de referencia por intermedio de meras operaciones de tipo o-exclusivo en 16 bits con un subconjunto de los bits menos fiables para los cuales se desea dar la vuelta a la decisión firme de referencia.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de recepción de datos digitales transmitidos por tramas utilizando una codificación de control de integridad mediante el cual, antes de una etapa de transmisión de una trama en un canal, se agrega a la trama una información suplementaria de validación de trama creada con el concurso de dicho código de control de integridad y, después de dicha etapa de transmisión en dicho canal, se procede a una estimación de la trama recibida por medio de una unidad de decisión que permite determinar una trama de referencia mediante decisiones firmes en lo referente al valor de cada bit recibido de una sucesión de bits de longitud N considerada y se procede a una verificación de la compatibilidad de dicha trama de referencia proporcionada por las decisiones firmes con dicha codificación de control de integridad utilizada, comprendiendo dicho procedimiento unas etapas consistentes, para cada trama recibida:
- en calcular, para cada bit de dicha trama de referencia proporcionada por las decisiones firmes, un valor de verosimilitud del valor del bit recibido, representativo de la probabilidad de error de transmisión para los bits considerados;
- y, en caso de no compatibilidad de dicha trama de referencia con dicha codificación de control de integridad:
- en identificar, dentro de dicha trama de referencia, un conjunto finito no vacío de bits más verosímilmente erróneos en función de dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit;
  - en enumerar una pluralidad de tramas candidatas respectivamente correspondientes cada una de ellas a una de las posibles combinaciones de número de inversiones de los bits más verosímilmente erróneos identificados dentro de dicha trama de referencia;
  - en verificar la compatibilidad de las tramas candidatas de dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas con dicha codificación de control de integridad;
  - en seleccionar una trama candidata compatible con dicha codificación de control de integridad con el fin de estimar la trama recibida,
- caracterizándose dicho procedimiento por que además comprende unas etapas consistentes en recibir un primer conjunto de bits que da la longitud de la trama, en considerar al menos dos valores candidatos de longitud de trama determinados en función de los valores de verosimilitud calculados para cada bit de dicho primer conjunto de bits, y en proceder a la estimación de la trama recibida, según las anteriores etapas, en orden creciente de las longitudes de trama consideradas, sucesivamente.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende unas etapas consistentes en ordenar la enumeración de cada trama candidata por orden creciente de su fiabilidad y por orden creciente del número de inversiones de los bits más verosímilmente erróneos identificados dentro de dicha trama de referencia, y en verificar iterativamente la compatibilidad de las tramas candidatas así ordenadas, al objeto de parar las iteraciones en cuanto se verifica una trama candidata compatible con dicha codificación de control de integridad, mediante lo cual dicha trama candidata seleccionada es aquella de la iteración actual.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende unas etapas consistentes:
- en determinar, para cada trama candidata de dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas, una puntuación de fiabilidad resultante de la suma de dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit, ponderados en función del valor del bit correspondiente dentro de dicha trama candidata;
  - en seleccionar la trama candidata, de entre dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas, que maximiza dicha puntuación de fiabilidad a la vez que es compatible con dicha codificación de control de integridad.
4. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que dichos al menos dos valores candidatos de longitud de trama considerados comprenden un primer valor candidato de longitud de trama obtenido mediante decisiones firmes en lo referente al valor de cada bit recibido de dicho primer conjunto de bits y un segundo valor candidato de longitud de trama obtenido por inversión del bit más verosímilmente erróneo de dicho primer conjunto de bits.
5. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que la identificación, dentro de dicha trama de referencia, de dicho conjunto finito no vacío de bits más verosímilmente erróneos consiste en memorizar, desde el inicio de recepción de la trama, un conjunto de información que comprende al menos la posición de los bits de que se trate dentro de la trama y el valor de verosimilitud asociado, y en actualizar dicho conjunto de información tras la recepción de cada bit suplementario, consistiendo dicha actualización en comparar el valor de verosimilitud asociado a dicho bit suplementario recibido con el mayor en valor absoluto de los valores de verosimilitud previamente memorizados, y en modificar dicho conjunto de información, al objeto de sustituir la más fiable de las posiciones memorizadas por la posición de dicho bit suplementario recibido si

el mismo resulta ser menos fiable.

5 6. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit recibido resultan del cálculo del coeficiente de verosimilitud logarítmica del valor del bit recibido definido por el logaritmo de la relación de la probabilidad condicional de que el bit recibido esté en un primer estado, habida cuenta del valor del bit recibido, a la probabilidad condicional de que el bit recibido esté en un segundo estado, habida cuenta de este mismo valor del bit recibido.

7. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que dicha codificación de control de integridad se efectúa mediante una codificación de control de redundancia cíclica.

10 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que dicha codificación de control de integridad se efectúa mediante un algoritmo de obtención de resumen.

15 9. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que es llevado a la práctica mediante un dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia de un sistema de pasarela en una instalación de telelectura que comprende además una pluralidad de dispositivos de conteo, comprendiendo cada dispositivo de conteo un módulo de conteo y un módulo de radiofrecuencia para transmitir datos con destino a dicho dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia de dicho sistema de pasarela.

20 10. Dispositivo de recepción de datos digitales transmitidos por tramas utilizando una codificación de control de integridad, del tipo que comprende una unidad de decisión (60) establecida al objeto de proporcionar a su salida decisiones firmes en lo referente al valor de cada bit recibido de una sucesión de bits de longitud N considerada, constituyendo el conjunto de dichas decisiones firmes una trama de referencia correspondiente a una estimación de una trama recibida, y una unidad de control (90) establecida para calcular una información de validación de trama apta para proporcionar una indicación de la compatibilidad de la trama recibida con dicha codificación de control de integridad utilizada, comprendiendo dicha unidad de decisión (60):

medios de cálculo de un valor de verosimilitud del valor del bit recibido, representativo de la probabilidad de error de transmisión para cada bit recibido de dicha trama de referencia,

25 medios de memorización de un conjunto finito no vacío de bits más verosíilmente erróneos de dicha trama de referencia en función de dichos valores de verosimilitud calculados para cada bit,

30 medios de decisión establecidos para enumerar una pluralidad de tramas candidatas respectivamente correspondientes cada una de ellas a una de las posibles combinaciones de número de inversiones de los bits más verosíilmente erróneos, estando dicha unidad de control (90) diseñada para verificar la compatibilidad de las tramas candidatas de dicha pluralidad de tramas candidatas enumeradas con dicha codificación de control de integridad, estableciéndose dichos medios de decisión para seleccionar una trama candidata compatible con dicha codificación de control de integridad con el fin de estimar la trama recibida, caracterizándose dicho dispositivo por que dicha unidad de decisión está además adaptada para recibir un primer conjunto de bits que da la longitud de la trama, considerar al menos dos valores candidatos de longitud de trama determinados en función de los valores de verosimilitud calculados para cada bit de dicho primer conjunto de bits y proceder a la estimación de la trama recibida, por mediación de dichos medios, en orden creciente de las longitudes de trama consideradas, sucesivamente.

40 11. Sistema de pasarela para una instalación de telelectura, comprendiendo dicho sistema de pasarela al menos un dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia para comunicarse con una pluralidad de dispositivos de conteo de dicha instalación de telelectura, comprendiendo dicho dispositivo de emisión/recepción de radiofrecuencia un dispositivo de recepción según la reivindicación 10.

45 12. Dispositivo de conteo para una instalación de telelectura del tipo que comprende un módulo de conteo y un módulo de radiofrecuencia para comunicarse con un dispositivo de emisión/recepción/radiofrecuencia de un sistema de pasarela de dicha instalación de telelectura, comprendiendo dicho módulo de radiofrecuencia un dispositivo de recepción según la reivindicación 10.

13. Instalación de telelectura, especialmente de contadores de agua, que comprende una pluralidad de dispositivos de conteo según la reivindicación 12 y al menos un sistema de pasarela según la reivindicación 11.

**Figura única**

