

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 650 071**

51 Int. Cl.:

H04B 10/116 (2013.01)

G06K 9/40 (2006.01)

H04N 5/217 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2015 PCT/EP2015/052461**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015 WO15121155**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2015 E 15702792 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017 EP 3105868**

54 Título: **Luz codificada**

30 Prioridad:

14.02.2014 EP 14155285

14.02.2014 EP 14155269

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.01.2018

73 Titular/es:

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V. (100.0%)
High Tech Campus 45
5656 AE Eindhoven, NL

72 Inventor/es:

BAGGEN, CONSTANT PAUL MARIE JOZEF;
RIETMAN, RONALD y
VAN VOORTHUISEN, PAUL HENRICUS
JOHANNES MARIA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 650 071 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

Luz codificada

5 CAMPO TÉCNICO

La presente divulgación se refiere a la comunicación de señales de luz codificadas embebidas en una luz emitida por una fuente de luz.

10 ANTECEDENTES

15 La luz codificada se refiere a una técnica mediante la cual los datos son modulados en la iluminación visible emitida por una fuente de luz, por ejemplo, mediante una luminaria basada en LED. Por tanto, adicionalmente a proporcionar iluminación (para cuyo propósito una fuente de luz puede ya ser presentada en un entorno), la fuente de luz también actúa como un transmisor capaz de transmitir datos a un receptor adecuado de luz codificada. La modulación es típicamente realizada en una frecuencia suficientemente alta que es imperceptible para el ojo humano, es decir, de manera que el usuario sólo percibe la iluminación global y no el efecto de los datos que están siendo modulados en esa iluminación. De esta manera puede decirse que los datos están embebidos en la luz de la fuente de luz.

20 La luz codificada puede ser utilizada en diferentes aplicaciones. Por ejemplo, una aplicación es proporcionar información desde una luminaria a una unidad de control remoto para controlar esa luminaria, por ejemplo, para proporcionar un identificador que la distinga entre otras de tales luminarias cuya unidad remota puede controlar, o para proporcionar una información del estado de la luminaria (por ejemplo, para reportar errores, advertencias, temperatura, tiempo de funcionamiento, etc.). En uno de dichos ejemplos, la unidad de control remoto puede comprender un terminal de usuario móvil tal como un teléfono inteligente o una tableta que tienen una cámara integrada. Con el terminal ejecutando una aplicación adecuada, el usuario puede dirigir la cámara a una luminaria y por lo tanto detectar el identificador codificado en la luz de esa luminaria. Dado que el identificador de la luminaria se está observando, el terminal puede entonces controlar esa luminaria enviando de vuelta una señal de retorno (por ejemplo, a través de RF).

30 El documento US 20120281879A1 da a conocer un sistema de detección 2D de contribuciones de luz localizadas. En este documento del estado de la técnica anterior, la contribución de luz incluye un código embebido que comprende una secuencia de repetición de N símbolos. El sistema de detección incluye una cámara y una unidad de procesamiento. La cámara está configurada para adquirir una serie de imágenes de la escena a través de patrones de apertura/cierre específicos del obturador. Cada imagen incluye una pluralidad de píxeles, cada píxel que representa una intensidad de la salida de luz de la fuente de luz en una posición física diferente dentro de la escena.

35 La unidad de procesamiento está configurada para procesar las series de imágenes adquiridas para determinar si la contribución de luz de la primera fuente de luz está presente en la posición física seleccionada dentro de la escena mediante, por ejemplo, correlación de una secuencia de píxeles de las series adquiridas correspondientes a la posición física seleccionada con la primera secuencia de N símbolos.

40 En otra aplicación, la luz codificada puede ser utilizada para proporcionar información a un usuario, por ejemplo, para proporcionar identificadores de las luminarias para utilizar en la puesta en servicio, o para permitir la provisión de información relacionada con la localización. Por ejemplo, cada luminaria en un entorno interior y/o exterior (por ejemplo, en las habitaciones y corredores de un complejo de oficinas, y/o en los caminos de un campus) pueden disponerse para emitir luz embebida con un identificador que la identifica dentro del entorno. Si un usuario tiene un terminal móvil equipado con una cámara, y una aplicación asociada para detectar luz codificada, el terminal puede detectar el identificador de una luminaria que ilumina su localización actual. Esto puede entonces ser utilizado para ayudar al usuario a navegar en el entorno, buscando la posición actual en la base de datos de posición mapeando los identificadores a posiciones de las luminarias. De forma alternativa de forma adicional, esto es utilizado para buscar información asociada con la localización actual del usuario, tal como la información en exposiciones en habitaciones particulares de un museo. Por ejemplo, la búsqueda se puede realizar a través de Internet o de una red local a la cual tenga acceso el terminal, o a partir de una base de datos local en un terminal de usuario. De forma alternativa, la información podría directamente codificarse la luz desde una o más luminarias. En términos generales, la aplicabilidad de la luz codificada no está limitada.

45 Los datos son modulados en la luz por medio de una técnica tal como una codificación de amplitud o una codificación de desplazamiento de frecuencia, en donde la propiedad modulada (por ejemplo la amplitud de frecuencia) es utilizada para representar símbolos de canal. La modulación típicamente incluye un esquema de codificación para mapear bits de datos (algunas veces referidos como bits de usuario) sobre dichos símbolos de canal. Un ejemplo es un código Manchester convencional, que es un código binario mediante el cual un bit de usuario de valor 0 es mapeado en un símbolo de canal en forma de un pulso bajo-alto y un bit de usuario de valor 1 es mapeado en un símbolo de canal en forma de un pulso alto-bajo. Otro ejemplo es el código de Manchester Ternario desarrollado recientemente, descrito en la publicación de solicitud de patente No. WO 2012/052935.

Manchester Ternario ahora forma una parte del estado de la técnica y por tanto es conocido para el experto en la materia, pero se resume de nuevo en este caso como complemento. En el transmisor, cada bit de datos que se va transmitir es mapeado a un símbolo de canal en forma de un pulso unitario respectivo. De acuerdo con este esquema, hay dos unidades posibles, en forma de funciones de “sombrero” positiva y negativa tal y como se muestra en la figura 5. El pulso mapeado de un bit de datos de valor 1 es mostrado en el lado a mano izquierda de la figura 5, y el pulso mapeado de un bit de datos de valor 0 es mostrado en el lado a mano derecha de la figura 5. Un bit de datos es un bit de información real que se va transmitir, algunas veces referido como “datos de usuario” (incluso si no han sido creados de forma explícita por un usuario). El periodo de bit de datos es etiquetado T_D en la figura 5, con los límites entre los periodos de bit de usuario mostrados en líneas discontinuas verticales.

Cada pulso de unidad comprende una secuencia de período de canal elemental de longitud T_C en el tiempo, más pequeños que el periodo de bit de datos. Cada periodo de canal elemental transporta sólo uno de los niveles elementales que la señal codificada puede tomar (un símbolo de Manchester ternario), y no es sólo suficiente para transportar datos sin haber sido modulado en un símbolo de canal compuesto. Por tanto cada pulso de longitud T_D es la unidad más pequeña o más fundamental de contenido de información que puede ser transportada utilizando el esquema de codificación en cuestión.

En el código de Manchester ternario, cada función de sombrero de unidad comprende una secuencia de tres periodos de canal elementales de longitud T_C en tiempo, cada mitad de longitud del periodo de bit de datos T_D ($T_D = 2T_C$). Los tres periodos elementales para un bit de datos respectivo son contiguos, con el intermedio de los 3 estando situado en el centro de un periodo de bit de datos respectivo, de manera que los periodos de canal elementales primer y tercero adyacentes se montan en los límites de comienzo y final del periodo de bit de datos respectivamente, una mitad de un periodo T_C de canal elemental a ambos lados.

Para un bit de datos de valor 1, este es mapeado a la función de sombrero positiva mostrada a la izquierda de la figura 5. La función de sombrero positiva comprende: un primer periodo de canal elemental de altura $-1/2$ centrado en el límite de comienzo (más temprano) del periodo de bit de datos respectivo, seguido por un segundo periodo de canal elemental (intermedio) de altura $+1$ que está centrado en el periodo de bit de datos respectivo, seguido por un tercer símbolo de canal elemental de altura $-1/2$ centrado en el límite final (más tardío) del periodo de bit de datos respectivo. La “altura” en esta etapa puede ser representada en cualquier término adecuado tal como un valor digital sin dimensión (finalmente que se va representar mediante la propiedad de señal modulada, por ejemplo, la amplitud o la frecuencia).

Para un bit de datos de valor 0, que es mapeado a la función de sombrero negativa mostrada a la derecha de la figura 5. La función de sombrero negativa comprende: un primer periodo de canal elemental de altura $+1/2$ centrado en el límite de comienzo (más temprano) del periodo de bit de datos respectivo, seguido por un segundo periodo de canal elemental (intermedio) de altura -1 que está centrado en el periodo de bit de datos respectivo, seguido por un tercer periodo de canal elemental de altura $+1/2$ centrado en el límite final (más tardío) del periodo de bit de datos respectivo.

Para crear la corriente de bit codificada que se va transmitir, las funciones de sombrero o los bits de usuario adyacentes son añadidos entre sí, desplazados por los tiempos de sus periodos de bit respectivos. Debido a que las funciones de sombreros se solapan a través de los límites entre los periodos de bit de datos, las funciones se añaden en las regiones de solapamiento entre bits de datos adyacentes. Es decir, las funciones de sombrero están unidas a lo largo de los límites, de manera que el límite A_n más temprano de un periodo de bit de datos se une con el límite A_{n+1} de bit más tardío del periodo de bit de datos adyacente anterior, con la altura de la señal siendo sumada donde se solapan los dos pulsos adyacentes. Un ejemplo de la secuencia resultante de los símbolos de canal en el dominio de tiempo es mostrado en la figura 6.

Donde dos bits de datos adyacentes son de valor 1, esto significa que los dos periodos de canal elementales que se solapan de altura $-1/2$ se añaden a una altura de -1 punto donde dos bits de datos adyacentes son de valor 0, los dos periodos de canal elemental que se solapan de altura $+1/2$ se añaden a la altura $+1$. Donde dos bits de datos adyacentes son de valores diferentes, los dos periodos de canal elementales que se solapan del altura $+1/2$ y $-1/2$ se añaden a 0. Por tanto en la corriente codificada, cada periodo de bit de usuario (cada pulso de unidad) toma la forma de o bien un pulso positivo de una onda rectangular cuando un bit de usuario de valor 1 está interpuesto entre dos bits de usuario de valor 1, o un pulso negativo de una onda rectangular cuando un bit de usuario de valor 0 es interpuesto entre dos bits de usuario de valor adyacente 0, o un pulso no uniforme de una o cuatro configuraciones posibles con bordes rectos cuando al menos uno de los bits de usuario adyacentes es diferente.

En una variante equivalente, se puede invertir el mapeado de valores 0 y 1 de bit de datos a funciones de sombrero positiva y negativa.

La señal resultante (por ejemplo, la de la figura 6) es entonces convertida en una variación en la propiedad modulada de la señal emitida por la fuente de luz de transmisión (por ejemplo, si se representa en términos de amplitud o de frecuencia). Por ejemplo, el símbolo de canal elemental -1 puede ser representado por un nivel de

salida de luz bajo, el símbolo de canal elemental +1 puede ser representado por un nivel de luz de salida alto, y el símbolo de canal elemental 0 puede ser representado por un nivel intermedio entre el alto y el bajo.

El código Manchester ternario puede ser ventajoso ya que proporciona una transición más suave cuando el valor de cambio de los bits de datos que un código de Manchester convencional y resultan un espectro en el dominio de frecuencia que es más suprimido alrededor de frecuencias bajas donde pueden suceder interferencias tales como un zumbido de red. Sin embargo, la aplicabilidad de la presente divulgación no está limitada a un Manchester ternario y en otros modos de realización se pueden utilizar otros ejemplos de esquema de codificación adecuados, por ejemplo, un código de Manchester convencional (binario), u otros códigos de líneas binario o ternario convencionales.

Hay un interés creciente en utilizar la luz codificada en aplicaciones en las que la luz de una fuente de luz se va a capturar utilizando una cámara de obturador rodante, tal como las cámaras baratas a menudo encontradas en dispositivos de telefonía móvil. Una cámara de obturador rodante escanea las líneas de imagen una cada vez, línea a línea (típicamente a un mínimo de 18k líneas líneas/s). Como las líneas son registradas de forma secuencial en el tiempo, y los códigos de la luz pueden también variar de forma secuencial en el tiempo, se requiere un procesamiento adicional. Típicamente las muestras en una línea son "integradas" o "condensadas" en un valor único por línea. Cada línea por tanto captura una muestra de la señal en un momento diferente en el tiempo, permitiendo que la señal de luz codificada sea reconstruida.

RESUMEN

De acuerdo con un aspecto divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un dispositivo que comprende: una salida para controlar una fuente de luz para embeber una señal de luz codificada en una luz visible emitida desde la fuente de luz, y un controlador configurado para generar la señal de luz codificada. La luz va a ser recibida en una cámara de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una pluralidad de líneas de cada fotograma en secuencia, teniendo la cámara un tiempo de exposición con cada línea estando expuesta durante un tiempo de exposición. El controlador está configurado para generar la señal de luz codificada de acuerdo con un formato con lo que la señal de luz codificada comprende al menos un mensaje y el mensaje es repetido múltiples veces con una temporización tal que, cuando muestras de las señales codificadas son obtenidas de un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que las expuestas por la cámara en cada fotograma y el mensaje es más largo que dicho número de líneas, se ve una parte diferente del mensaje por la cámara en cada una de la pluralidad de fotogramas diferentes a dichos fotogramas.

En los modos de realización, el mensaje puede ser repetido de tal manera que el mensaje completo se puede ver sobre dicha pluralidad de fotogramas.

El mensaje puede ser de una duración más larga que un fotograma.

El mensaje puede comprender uno o más paquetes que comprenden un diferente contenido de datos, en donde cada uno de los paquetes de mensaje pueden ser seguido por un período de inactividad entre paquetes, y en donde las repeticiones del mensaje pueden separarse mediante un periodo de inactividad entre mensajes diferente que el periodo de inactividad entre paquetes.

El periodo de inactividad entre paquetes puede ser mayor que o igual al tiempo de exposición o un valor anticipado máximo del tiempo de exposición.

El periodo de inactividad entre mensajes puede seleccionarse para tener dicha sincronización con lo que se ve una parte diferente del mensaje por la cámara en cada una de la pluralidad de fotogramas diferentes de dichos fotogramas.

El tiempo de exposición puede ser menor que o igual a (1/30)s , menor que o igual a (1/60)s, o menor que o igual a (1/120)s.

El al menos un mensaje puede estar formado de al menos tres paquetes por mensaje.

Cada uno de los paquetes puede ser de una longitud menor que o igual a 17 bits de largo, menor que o igual a 12 bits de largo, o menor que o igual a 9 bits de largo.

La longitud de paquete puede ser 9 bits, constando de un byte de contenido y un bit de sincronización.

El controlador puede estar configurado para codificar la señal de luz codificada de acuerdo con un esquema de codificación de modulación de Manchester ternario en donde los bits de datos de la señal son representados como que son mapeados a símbolos Manchester ternarios.

El período de inactividad entre mensajes puede tener una duración de al menos 4 de dichos símbolos.

Cada uno de los paquetes puede ser 19 de dichos símbolos de largo, el período de inactividad entre paquetes puede tener una duración de 33 de dichos símbolos, y el periodo de inactividad entre mensajes puede tener una duración de 5 de dichos símbolos.

5 El controlador puede estar configurado para codificar la señal de luz codificada con una tasa de símbolo de dichos símbolos siendo de 1kHz, 2kHz o 4kHz.

El controlador puede estar configurado para recibir una indicación del tiempo de exposición desde la cámara a través de un canal de vuelta, y para adaptar el formato del mensaje basándose en el tiempo de exposición.

10 El controlador puede estar configurado para realizar dicha adaptación seleccionando uno más parámetros tales que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de fotogramas diferentes de dichos fotogramas, y el uno más parámetros puede comprender: el periodo de inactividad entre paquetes, el periodo de inactividad entre mensajes, el número de paquetes por mensaje, y/o la tasa de símbolo.

15 El controlador puede estar configurado para adaptar el formato seleccionando entre una pluralidad de combinaciones predeterminadas diferentes de dichos parámetros.

20 Dicho número de líneas puede ser menor que o igual a un 14% de las líneas de cada fotograma.

De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento se puede proporcionar un sistema que comprende el dispositivo que tiene cualquiera de las características anteriores, la fuente de luz, y la cámara; estando posicionada la cámara con respecto a la fuente de luz de tal manera que dichas muestras son obtenidas a partir de un número sustancialmente más pequeño de líneas que las expuestas por la cámara en cada fotograma y el mensaje es más largo que dicho número de líneas.

25 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un método que comprende (controlar una fuente de luz para embeber una señal de luz codificada en una luz visible emitida desde la fuente de luz, comprendiendo la señal de luz codificada al menos un mensaje; recibir la luz en una cámara de obturador rodante que captura fotogramas exponen de una pluralidad de líneas de cada fotograma en secuencia, teniendo la cámara un tiempo de exposición con cada línea que está siendo expuesta para el tiempo de exposición; y obtener muestras de la señal de luz codificada a partir de un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que las expuestas por la cámara en cada fotograma, siendo más largo en mensaje que dicho número de líneas; en donde la señal de luz codificada es generada de acuerdo a un formato con lo que el mensaje es repetido múltiples veces con una temporización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de fotogramas diferentes de dichos fotogramas.

30 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un producto de programa de ordenador que comprende un código implementado en un medio de almacenamiento legible por ordenador y configurado de manera que cuando se ejecuta para realizar operaciones de: controlar una fuente de luz para embeber una señal de luz codificada en una luz visible emitida desde la fuente de luz, para ser recibida por una cámara de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una pluralidad de líneas de cada fotograma en secuencia, la cámara que tiene un tiempo de exposición con cada línea siendo expuesta durante el tiempo de exposición, y generar la señal de luz codificada de acuerdo con un formato con lo que la señal de luz codificada comprende al menos un mensaje y el mensaje es repetido múltiples veces con una temporización tal que, cuando las muestras de la señal de luz codificada son obtenidas a partir de un número sustancialmente más pequeño de líneas que la expuesta por la cámara en cada fotograma y el mensaje es más largo que dicho número de líneas, una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de fotogramas diferentes de dichos fotogramas.

35 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se puede proporcionar una señal de luz codificada embebida en una luz visible emitida desde la fuente de luz, para ser recibida por una cámara de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una pluralidad de líneas de cada fotograma en una secuencia, teniendo la cámara un tiempo de exposición con cada línea siendo expuesta durante el tiempo de exposición; en donde: la señal de luz codificada es formateada de acuerdo con un formato con lo que la señal de luz codificada comprende al menos un mensaje y el mensaje es repetido múltiples veces con una temporización tal que, cuando las muestras de la señal de luz codificada son obtenidas a partir de un número sustancialmente más pequeño de líneas que el expuesto por la cámara en cada fotograma y el mensaje es más largo que dicho número de líneas, una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de diferentes fotogramas de dichos fotogramas.

40 En modos de realización el método, el programa de ordenador y/o la señal pueden además estar configurados de acuerdo con cualquiera de las características discutidas en relación al dispositivo anterior.

45 De acuerdo con otro aspecto divulgado en el presente documento se puede proporcionar un dispositivo que comprende: una entrada para recibir una señal desde una cámara de obturador rodante que captura fotogramas de

una duración dada a una tasa de fotograma dada exponiendo una pluralidad de líneas de cada fotograma en una secuencia, comprendiendo la señal una señal de luz codificada; un módulo de procesamiento de señal conectado a dicha entrada y dispuesto para obtener, a través de dicha entrada, una muestra respectiva de la señal de luz codificada desde cada una de un número de dichas líneas, estando expuestas dicho número de líneas durante una
 5 duración, y siendo dicho número de líneas un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que la pluralidad de líneas expuestas por la cámara en cada fotograma; la señal de luz codificada comprende un mensaje que tiene una duración más larga que la duración a lo largo de la cual dicho número de líneas están expuestas, y repeticiones múltiples del mensaje son recibidas en una temporización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de diferentes fotogramas de dichos fotogramas; y el módulo de
 10 procesamiento de señal está configurado para alinear en el tiempo las diferentes partes del mensaje a partir de la pluralidad de diferentes fotogramas y reensamblar el mensaje a partir de las partes alineadas en el tiempo.

En modos de realización, el mensaje completo puede ser visto a lo largo de dicha pluralidad de fotogramas.

15 En modos de realización, el mensaje puede tener una duración más larga que un fotograma.

En modos de realización, el módulo de procesamiento de señal puede estar configurado para realizar dicha alineación en el tiempo basándose en la duración del fotograma y en la duración del mensaje.

20 En modos de realización, el módulo de procesamiento de señal puede estar configurado para realizar dicha alineación en el tiempo mediante: determinar un periodo de referencia de sincronización que es un número entero múltiple de la longitud de dicho mensaje; y desplazar la parte del mensaje recibido en cada fotograma sucesivo mediante la longitud de fotograma con respecto a su fotograma precedente, pero replegándose hacia el comienzo de dicho periodo de referencia de temporización más allá del final de dicho periodo de referencia de temporización.

25 En modos de realización, cada fotograma comprende líneas activas y líneas inactivas, siendo dicha pluralidad de líneas las líneas activas y el módulo de procesamiento de señal estando configurado para tener una muestra respectiva para cada una de una pluralidad de líneas activas de cada fotograma incluyendo dicho número de líneas, por lo tanto produciendo una señal de fotograma que tiene dicha duración de fotograma; y el desplazamiento se realiza extendiendo cada señal de fotograma para tener la duración del periodo de referencia de temporización.
 30

Dicha extensión puede ser realizada añadiendo ceros a la señal de fotograma.

35 El módulo de procesamiento de señal puede estar configurado para descartar uno o más fotogramas omitidos.

El módulo de procesamiento de señal puede estar configurado para generar una pluralidad de versiones reensambladas del mensaje cada una basada en un subconjunto respectivo diferente de dichas partes del mensaje, y para realizar una sincronización entre un reloj de dicho dispositivo y una sincronización de dicha señal de luz codificada en una correlación entre dichas versiones del mensaje.
 40

Cada una de dichas muestras puede ser tomada combinando valores de píxel de la línea respectiva.

Dicho número de líneas puede ser menor que o igual a un 14% de las líneas de cada fotograma.

45 Cada una de dichas partes puede ser menor que o igual a un 3% del mensaje.

El número de líneas a partir de las cuales se obtienen las muestras puede excluir las líneas que comprenden uno o más píxeles que están sobreexpuestos.

50 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un receptor que comprende el dispositivo que tiene cualquiera de las características anteriores y la cámara.

De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un sistema que comprende el receptor, y la fuente de luz, estando posicionada la cámara con respecto a la fuente de luz de tal
 55 manera que dichas muestras son obtenidas a partir de un número sustancialmente más pequeño de líneas que las expuestas por la cámara en cada fotograma y el mensaje no es más largo que dicho número de líneas.

De acuerdo con otro aspecto divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un método que comprende: recibir una señal desde una cámara de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una
 60 pluralidad de líneas de cada fotograma en una secuencia, comprendiendo la señal una señal de luz codificada, y teniendo una muestra respectiva de la señal de luz codificada desde cada una de un número de dichas líneas, dicho número de líneas estando expuestas durante una duración, siendo dicho número un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que la pluralidad de líneas expuestas por la cámara en cada fotograma; en donde la señal de luz codificada comprende un mensaje que tiene una duración más larga que la duración a lo largo del cual dicho
 65 número de líneas son expuestas, y el mensaje repetido múltiples veces con una sincronización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de una pluralidad de fotogramas diferentes de dichos

fotogramas; y en donde el método además comprende una alineación en el tiempo desde partes diferentes del mensaje a partir de una pluralidad de fotogramas diferentes, y reensamblando el mensaje a partir de las partes alineadas en el tiempo.

5 De acuerdo con otro aspecto divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un producto de programa por ordenador implementado en un medio legible por ordenador y configurado de tal manera que cuando se ejecuta para realizar las operaciones de: recibir una señal desde la cámara de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una pluralidad de líneas de cada fotograma en una secuencia, comprendiendo la señal una señal de luz codificada, y teniendo una muestra respectiva de la señal de luz codificada a partir de cada una de un número de
10 dichas líneas, estando expuestas dicho número de líneas durante una duración, y siendo dicho número de líneas un número sustancialmente más pequeña de dichas líneas que la pluralidad de líneas expuestas por la cámara en cada fotograma; en donde la señal de luz codificada comprende un mensaje que tiene una duración más larga que la duración sobre la cual dicho número de líneas son expuestas y el mensaje repetido múltiples veces con una temporización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de una pluralidad de
15 fotogramas diferentes de dichos fotogramas; y en donde el código está configurado además de manera que cuando se ejecuta para alinear el tiempo las diferentes partes del mensaje a partir de la pluralidad de fotogramas diferentes, y para reensamblar el mensaje a partir de las partes alineadas en el tiempo.

20 En los modos de realización el método y/o el programa de ordenador pueden además estar configurados de acuerdo con cualquiera de las características discutidas en relación al dispositivo anterior.

De acuerdo con otro aspecto más divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un filtro Wiener para ecualizar un efecto de un primer filtro sobre una señal de entrada que está sujeta al primer filtro y a ruido y/o interferencia, en donde, el primer filtro es dependiente de al menos una cantidad desconocida; y el filtro Wiener es configurado basándose en una representación promedio del primer filtro promediada sobre dicha al menos una
25 cantidad desconocida, en lugar de una representación del primer filtro asumiendo que es conocida. Dicha representación promedio puede comprender un promedio del conjugado del primer filtro.

30 Dicha representación promediada puede comprender un promedio de: el primer filtro multiplicado por su conjugado.

Dicha representación promediada puede comprender un promedio del conjugado del primer filtro y un promedio de: el primer filtro multiplicado por su conjugado.

35 El filtro Wiener puede funcionar en un dominio de frecuencia.

El filtro Wiener puede estar configurado de acuerdo a:

$$G = \frac{E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

40 donde G es el filtro Wiener en el dominio de frecuencia, H es el primer filtro en el dominio de frecuencia, S es una densidad espectral de la señal de entrada, \mathcal{N}_0 es una densidad espectral del ruido y/o interferencia, θ es la cantidad desconocida, y E es el promedio con respecto a θ .

45 El promedio puede asumir una distribución uniforme de la cantidad desconocida entre límites finitos.

El primer filtro puede tener un valor nominal, y dicho promediado con respecto a la cantidad desconocida puede ser calculado utilizando una expansión de series de Taylor del primer filtro alrededor de su valor nominal y una primera pluralidad de momentos de la cantidad desconocida.

50 El primer filtro puede ser dependiente de una pluralidad de cantidades desconocidas, y el filtro Wiener puede estar configurado basándose en una representación promedio del primer filtro promediada sobre cada una de dichas cantidades desconocidas.

55 El primer filtro puede comprender una función de caja en el dominio de tiempo y una función de sincronización en el dominio de frecuencia, teniendo la función de caja una anchura en el dominio de tiempo, y dicha cantidad desconocida puede comprender la anchura de la función de caja.

60 La señal de entrada puede comprender una señal de luz codificada capturada mediante un proceso de adquisición de obturador rodante con lo que cada línea de un fotograma es expuesta de una en una para un tiempo de exposición, y dicho primer filtro puede ser el resultado del proceso de adquisición de obturador rodante con el tiempo de exposición siendo dicha cantidad desconocida.

La exposición de cada línea puede producir la función de caja, y su anchura puede ser el tiempo de exposición.

El primer filtro puede comprender un filtro de paso de banda que tiene una frecuencia central y una anchura de banda, y dicha al menos una cantidad desconocida puede comprender la frecuencia central y/o la anchura de banda del filtro de paso de banda.

5 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se puede proporcionar un receptor que comprende el filtro Wiener que tiene una de las características anteriores, y la cámara que puede estar dispuesta para capturar dicha señal de entrada mediante dicho proceso de adquisición de obturador rodante.

10 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento, se proporciona un método para determinar un filtro Wiener para ecualizar un efecto de un primer filtro en una señal de entrada que está sujeta al primer filtro y a ruido y/o interferencia, comprendiendo el método: identificar al menos una cantidad desconocida de la cual es dependiente el primer filtro, y en una formulación de un filtro Wiener que comprende una representación del primer filtro, en lugar de una representación en la cual el primer filtro se asume que es conocido, reemplazar la representación con una representación promedio del primer filtro promediada sobre dicha al menos una cantidad desconocida.

15 De acuerdo con un aspecto adicional divulgado en el presente documento se puede proporcionar un producto de programa de ordenador implementado en un medio legible por ordenador, y configurado de manera que cuando se ejecuta para implementar el filtro Wiener para ecualizar un efecto de un primer filtro en una señal de entrada que está sujeta al primer filtro y a ruido y/o interferencia, en donde, el primer filtro es dependiente de al menos una cantidad desconocida, y el filtro Wiener está configurado basándose en una representación promedio del primer filtro promediada al menos una cantidad desconocida, en lugar de una representación del primer filtro asumiendo que es conocida. El método y/o el programa de ordenador pueden además estar configurados de acuerdo con cualquiera de las características discutidas en relación con el filtro Wiener anterior. Se pueden combinar cualquiera de las características del dispositivo de transmisión lateral, dispositivo lateral receptor y/o filtro Wiener anterior; como puede cualquier característica de cualquier dispositivo, transmisor, receptor, sistema, señal, método y/o programa de ordenador, indicados anteriormente o divulgados en cualquier lugar del presente documento.

20 Se ha de notar que esta sección de resumen no pretende limitar el alcance la presente divulgación. El alcance de la divulgación es limitado sólo por las reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

35 Para ayudar a la comprensión de la presente divulgación y para mostrar cómo se pueden realizar modos de realización, se hace referencia, a modo de ejemplo, a los dibujos que acompañan, en los cuales:

La figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de comunicación de luz codificada,

40 La figura 2 es una representación esquemática de un fotograma capturado por una cámara de obturador rodante,

La figura 3 muestra un ejemplo de un fotograma capturado,

45 La figura 4 muestra un ejemplo de muestras utilizables obtenidas a partir de un fotograma capturado,

La figura 5 ilustra de forma esquemática un esquema de codificación de Manchester ternaria,

La figura 6 ilustra de forma esquemática un ejemplo de señal codificada utilizando el Manchester ternario,

50 La figura 7 ilustra de forma esquemática un formato de mensaje,

La figura 8 es un gráfico de un número de fotogramas requeridos para un reensamblado de mensaje,

55 La figura 9 muestra tres repeticiones de un mensaje repetido de forma cíclica,

La figura 10 muestra un mensaje que consta de tres paquetes,

La figura 11 muestra señales transmitidas y recibidas en el dominio de tiempo,

60 La figura 12 muestra una señal transmitida e ISI en el dominio de frecuencia,

La figura 13 muestra señales obtenidas mediante un muestreo de cada una de la pluralidad de fotogramas,

65 La figura 14 muestra versiones extendidas de las señales obtenidas a partir de fotogramas de muestreo,

La figura 15 muestra versiones alineadas en el tiempo de las señales a partir de una pluralidad de fotogramas,

La figura 16 muestra señales reconstruidas a partir de una pluralidad de fotogramas,

La figura 17 muestra un mensaje reconstruido,

5 La figura 18 muestra una alineación no rodante de mensajes,

La figura 19 muestra una alineación de "cambio" de mensajes,

10 La figura 20 es un diagrama de bloques esquemático de un filtro Wiener que ecualiza un filtro H,

La figura 21 es un diagrama de bloques esquemático de un filtro ISI resultante de un obturador rodante,

La figura 22 es un diagrama de bloques esquemático que representa un ruido adicional, y

15 La figura 23 es un diagrama de bloques esquemático de un filtro Wiener que ecualiza un filtro H.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN

20 Lo siguiente se refiere a una aplicación de luz codificada, y proporciona un formato para permitir luz codificada, un decodificador para recibir la luz codificada, y un bloque de construcción ventajoso particular utilizado en el decodificador (que también puede ser utilizado en otras aplicaciones diferentes de la luz codificada).

25 El formato y técnicas de decodificación están destinados a proporcionar una solución práctica para la luz codificada, definiendo un formato que pueda trabajar con cámaras de obturador rodante existentes, así como dedicado a cámaras denominadas de región de interés (ROI) similares. La divulgación proporciona un método de codificación y decodificación, un codificador y un decodificador, un formato de señal, y un software para codificar y decodificar, que en modos de realización permite a dichas cámaras de obturador rodante es barata recibir la luz codificada y decodificar los mensajes contenidos en la misma.

30 Las cámaras de obturador rodante baratas escanean de forma efectiva sus imágenes, así como el progreso de líneas, y el tiempo. Esto implica que el sello de tiempo de la línea superior es más temprano que el sello de tiempo de la línea inferior. Ahora imaginemos que la luz codificada está presente en la imagen, la luz codificada típicamente sólo será visible en una pequeña sección de la imagen.

35 Las líneas que realmente representan la luz son líneas que contienen luz codificada. Cada línea está "condensada" en un valor único y ese valor único corresponde a un bit de información o un símbolo; es decir el bit o símbolo transmitidos en el momento en el tiempo en que la línea fue escaneada. Ahora para qué la cámara obturador rodante de codifique un mensaje, se debería estar seguro de que el número de líneas por fotograma es lo suficientemente alto (así como la luz suficientemente grande) y decodificar imágenes basándose en un único fotograma. Sin embargo, tal y como se discutirá en mayor detalle en breve, esto no es siempre posible.

40 La figura 1 proporciona una visión general esquemática de un sistema para transmitir y recibir luz codificada. El sistema comprende un transmisor 2 y un receptor 4. Por ejemplo, el transmisor 2 puede tomar la forma de una luminaria (por ejemplo, montada en un techo o una pared y una habitación, una lámpara de pie, o un poste de luz exterior); y el receptor 4 puede tomar la forma de un terminal de usuario móvil tal como un teléfono inteligente, una tableta o un ordenador portátil. El transmisor 2 comprende una fuente 10 de luz y un controlador 8 conectado a la fuente 10 de luz. El trasmisor 2 también comprende un dispositivo en forma de un programa 6 controlador y una salida al controlador 8, para controlar la fuente 10 de luz para ser controlada a través del controlador 8. Por ejemplo el programa 6 controlador puede tomar la forma de un software almacenado en una memoria del transmisor 2 y dispuesto para su ejecución en un procesador del transmisor, de forma alternativa, no se excluye que alguno o todos los programas 6 controladores puedan implementarse en un hardware, o en una circuitería de hardware configurable o reconfigurable. El receptor 4 comprende una cámara 12 y el dispositivo en forma de un módulo 14 de procesamiento de señal y una salida de la cámara 12. El módulo 14 de procesamiento de señal puede por ejemplo tomar la forma de un software almacenado en una memoria del receptor 4 y dispuesto para la ejecución en un procesador del receptor 4, o de forma alternativa, no se excluye que alguno o varios de los módulos 14 de procesamiento de señal puedan implementarse en una circuitería de hardware dedicada, una circuitería de hardware configurable o reconfigurable. El programa 6 controlador y el módulo 14 de procesamiento de señal están configurados para realizar una transmisión lateral y recibir operaciones laterales (respectivamente) de acuerdo con modos de realización del presente documento.

60 Con referencia a las figuras 2 y 3, la cámara 12 está dispuesta para capturar una serie de fotogramas 16 los cuales, si la cámara está apuntada hacia la fuente 10 de luz, contendrán una imagen de luz de la fuente 10 de luz. La cámara 12 es una cámara de obturador rodante, lo que significa que captura cada fotograma 16 no todos de una sola vez (como en una cámara de obturador global), sino línea por línea en una secuencia de líneas 18. Es decir, cada fotograma 16 está dividido en una pluralidad de líneas 18 (número total de líneas indicadas 20), típicamente líneas horizontales, cada una que se extiende a través del fotograma 16 y que es de uno o más píxeles de ancha

(por ejemplo, extendiéndose a lo largo de la longitud del fotograma 16 y siendo de uno o más píxeles de alta en el caso de líneas horizontales). El proceso de captura comienza por la exposición de una línea 18, después la siguiente (típicamente una línea adyacente), después la siguiente, y así sucesivamente. Por ejemplo el proceso de captura puede discurrir de arriba a abajo del fotograma 16, comenzando exponiendo la línea superior, después la línea siguiente desde la parte superior, después la línea siguiente hacia abajo, y así sucesivamente. De forma alternativa podría discurrir de abajo a arriba (o incluso en líneas verticales una al lado de la otra). Se ha de notar que las exposiciones de cada línea pueden ser exclusivas en el tiempo, o de forma alternativa pueden solaparse en el tiempo (pero de cualquier manera comenzar en momentos diferentes. La cámara 12 tiene una cierta exposición Texp de tiempo, y cada línea está expuesta a su vez para un caso de este mismo tiempo de exposición. Se ha de notar también que en el caso de cámaras digitales, la "exposición" no quiere decir en el sentido de un obturador mecánico, sino más bien el tiempo durante el cual los píxeles de la línea están capturando o muestreando la luz.

Para capturar una muestra para el propósito de detectar la luz codificada, toda o alguna de las muestras de píxeles individuales de cada línea 18 dada son combinadas en una muestra 19 combinada respectiva para esa línea (por ejemplo, sólo los píxeles "activos" que contribuyen de forma útil a la señal de luz codificada, que se va a discutir posteriormente con referencia las figuras 3 y 4). Por ejemplo, la combinación se puede realizar integrando o promediando los valores de Pixel, o por cualquier otra técnica de combinación. De forma alternativa un cierto píxel puede ser tomado como representativo de cada línea.

En la literatura existente se asume que la fuente 10 cubre la totalidad o casi la totalidad de cada fotograma. Sin embargo esto a menudo no es el caso. Por otro lado, la luz que está siendo emitida no es necesariamente sincronizada con el proceso de captura lo cual puede resultar en problemas adicionales.

Un problema particular de utilizar una cámara de obturador rodante para una detección de luz codificada por lo tanto surge, debido a que la fuente 10 de luz que sirve como un transmisor de luz codificada puede de hecho cubrir sólo una fracción de las líneas 18 de cada fotograma 16. Realmente, sólo las líneas 24 en la figura 2 contienen píxeles que registran las variaciones de intensidad de la fuente de luz codificada y por tanto conducen a muestras que contienen información útil. Ver también la figura 3. Todas las "líneas por fotograma" 22 restantes y sus muestras derivadas no contienen información de luz codificada relacionada con la fuente 10 de interés. Si la fuente 10 es pequeña, sólo se puede obtener una vista temporal corta de la fuente 10 de luz codificada en cada fotograma 16 y dice por lo tanto las técnicas existentes sólo permiten mensajes muy cortos. Sin embargo, puede ser deseable tener la posibilidad de transmitir también mensajes más largos. Se ha de notar también que puede haber algunas líneas 26 que están "ocultas" o inactivas, por ejemplo, debido a un formato de fotograma seleccionado (dejando que sólo las líneas 21 activas contribuyan a la imagen capturada).

Además de lo anterior puede haber de forma alternativa o de forma adicional uno o más problemas diferentes puntos en los modos de realización los problemas pueden comprender: en primer lugar, que un obturador rodante pueda resultar en vistas interrumpidas temporalmente por un corto tiempo de la fuente de luz codificada; en 2º lugar, puede haber un conflicto de intereses entre un "control de exposición automático" y la luz codificada; en 3er lugar, la tecnología de controlador en la actualidad permite sólo una señalización de baja frecuencia lo cual puede provocar un parpadeo; y/o en 4º lugar, el efecto del filtrado producido por el proceso de obturador rodante puede resultar en una interferencia entre símbolos (ISI).

Por lo tanto las técnicas existentes pueden ser insuficientemente flexibles y/o llevar a error o interferencia. Los siguientes modos de realización tienen como objetivo combinar la información de fotogramas de video múltiples en una cámara de obturador rodante, de manera que capturarse y decodificarse mensajes más largos que su huella en un único fotograma de video puedan. En los modos de realización esto implica:

(i) utilizar un formato de señal en la que un mensaje se ha repetido de forma cíclica por el transmisor; y

(ii) en el receptor, explotar el conocimiento del tiempo (Tm) de repetición del mensaje y el conocimiento de la duración (Tframe) del fotograma para reconstruir un mensaje completo a partir de capturas de imagen parciales obtenidas en cada fotograma. Para tal fin la divulgación proporciona un método para recolectar y reensamblar los datos recolectados a partir de múltiples fotogramas.

Un mensaje es repetido de forma cíclica, y en el receptor del mensaje es reensamblado de forma efectiva a lo largo del tiempo (por ejemplo esto puede para ciertos mensajes realmente tomar 1 o 2 segundos, por ejemplo, por tanto de 30-60 fotogramas). Con el fin de permitir esto lo siguiente describe un formato de datos particular para codificar información en la luz.

Parte de la decodificación de la señal a su vez es descrita utilizando un método referido en el presente documento, "reensamblado". Para facilitar la decodificación, la duración de mensaje y/o el Texp de la cámara son ajustados de una manera que permiten a una cámara de obturador rodante barata detectar un mensaje completo de forma clara rápidamente.

Una vez que el mensaje es reensamblado será ecualizado. El enfoque "normal" es tomar el mensaje y usar de forma efectiva un limitador para determinar la temporización exacta de la señal y después ecualizarla. Sin embargo, de acuerdo con el modo de realización de lo siguiente, esto se puede lograr de una manera inteligente utilizando una implementación de filtro Wiener robusta la cual es bastante eficiente (preferiblemente de manera que el algoritmo de decodificación completo pueda implementarse en teléfonos móviles comunes y corrientes estándar).

El filtro Wiener robusto toma en consideración la incertidumbre del canal y de esta manera puede reducir la interferencia entre símbolos (ISI). En los modos de realización siguientes este filtro es utilizado después del reensamblado, pero se ha de notar que puede ser utilizado en otros sistemas también (no limitados sólo a ecualizar el efecto de un obturador rodante ni aún tan sólo a las aplicaciones de luz codificada).

FORMATO DE MENSAJE

Lo siguiente describe un formato de mensaje que permite una combinación fiable de la información de fotogramas de video múltiples tal que puedan ser capturados y decodificados los mensajes más largos que la "huella", e incluso mensajes que tengan una duración de varios fotogramas. Por otro lado, el formato de señal permite una ecualización asíncrona (tipo Wiener) para deshacer el ISI provocado por la cámara en el receptor. Además, el contenido de frecuencia de los mensajes puede ser tal que no haya un parpadeo visible o efectos estroboscópicos, incluso para longitudes de mensaje que tengan una frecuencia de repetición de, por ejemplo, 18Hz (muy sensibles a la frecuencia de parpadeo).

Un ejemplo de dicho formato de mensaje es mostrado en la figura 7. Para asegurar que el mensaje puede ser capturado incluso dada una pequeña huella, la señal de luz codificada es transmitida de acuerdo con un formato con lo cual el mismo mensaje es repetido múltiples veces en una sucesión, y la temporización de este es configurada con respecto al tiempo de exposición de la cámara, o el rango de posibles veces de exposición de las cámaras anticipadas, de tal manera que el mensaje "discurre" sobre múltiples fotogramas. Es decir, de tal manera que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de fotogramas diferentes, de una manera que permite que el mensaje completo sea constituido a lo largo del tiempo a medida que se han visto diferentes partes del mensaje. El problema aquí es por lo tanto la manera en la cual la longitud del mensaje (duración) T_m es elegida con respecto al tiempo T_{exp} de exposición o los tiempos de exposición anticipados, de manera que en la reconstrucción, la cámara de obturador rodante represente otra parte del mensaje en cada fotograma (en donde las partes del mensaje no son necesariamente consecutivas y de hecho para cámaras de obturador rodante a menudo no van a ser consecutivas). La temporización del mensaje puede adaptarse en respuesta al conocimiento actual de una exposición de cámara particular T_{exp} que es retroalimentado a través de un canal de retorno adecuado tal como un canal de RF entre el receptor 4 y el trasmisor 2 (un "formato negociado"), o de forma alternativa la sincronización se puede formatear de una forma predeterminada para anticipar un rango de valores de tiempo T_{exp} de exposición posibles de cámaras cuyo formato es diseñado para acomodarse (un "formato universal").

En modos de realización, aparte de la longitud (duración) el contenido de datos del mensaje actual (carga útil) 30, la longitud del mensaje T_m puede seleccionarse incluyendo un periodo de inactividad entre mensajes (IMIP) 34 entre casos repetidos del mismo mensaje. De esa manera, si el contenido del mensaje solo pudiera resultar en que cada fotograma que ve más o menos la misma parte del mensaje, el periodo de inactividad entre mensajes se podría utilizar para romper este comportamiento y en su lugar lograr la condición de "rodamiento" discutida anteriormente.

En modos de realización el periodo de inactividad entre mensajes puede adaptarse dando una retroalimentación del T_{exp} ("formato negociado"), o pueden determinarse para acomodar un rango de valores posibles de T_{exp} ("formato universal").

Tal y como se ha mencionado, la condición de rodamiento está conectada al tiempo de exposición (es decir al tiempo de exposición de línea) T_{exp} de la cámara de obturador rodante. No hay una única solución para esto, es más una cuestión de evitar combinaciones de T_m y T_{exp} que no cumplan la condición (discutido con más detalle en breve). En el caso de la búsqueda de un formato universal, los inventores han descubierto que se puede asegurar que están disponibles suficientes soluciones siempre que $T_{exp} \leq 33\text{ms}$ o $(1/30)\text{s}$ (aproximadamente).

Otro problema es la interferencia entre símbolos (ISI), que es un resultado del efecto del filtrado de la exposición de cada línea (efectivamente un filtro de caja aplicado en el dominio de tiempo a medida de que cada línea es expuesta). Para mitigar esto, en los modos de realización el formato de mensaje está dispuesto de tal manera que cada caso del mensaje comprende una pluralidad de paquetes 29 individuales (por ejemplo al menos tres) e incluye un periodo de inactividad entre paquetes (IPIP) 32 entre cada paquete. En los modos de realización, el periodo de inactividad entre paquetes sigue a cada paquete, con el periodo de inactividad entre mensajes (IMIP) 34 marcado en el final después del último paquete (podría haber incluso sólo un paquete, con el IPIP 32 y potencialmente el IMIP 34 siguiente).

La interferencia entre símbolos es entonces una función de la longitud del paquete y del periodo de inactividad entre paquetes. Cuanto más símbolos de datos hay en una fila, más interferencia entre símbolos (ISI). Por lo tanto es

deseable mantener la longitud del paquete pequeña con huecos bien dimensionados entre el mismo. Los huecos de inactividad (sin datos, por ejemplo, todo ceros) entre paquetes de datos ayudan a mitigar la interferencia entre símbolos, ya que mantienen la longitud de paquete corta. De nuevo estas propiedades se pueden adaptar en respuesta al conocimiento actual de un tiempo de exposición Texp de una cámara particular que es retroalimentado a través de un canal de retorno adecuado tal como un canal de RF entre el receptor 4 y el transmisor 2 (“formato negociado”), o de forma alternativa la temporización se puede formatear de una manera predeterminada para anticipar un rango de posibles valores de tiempo de exposición Texp de cámaras diseñadas para acomodar el formato (“formato universal”). En modos de realización, los inventores han descubierto que una longitud de paquete no más larga de 9 bits separada por un periodo de inactividad entre paquetes de al menos el Texp proporciona un buen rendimiento en términos de mitigación de la ISI. Por una coincidencia conveniente, los 9 bits también permiten de una forma ventajosa un byte de datos más un bit de sincronización. Sin embargo, en otros modos de realización, se tolera una longitud de paquete de por encima de 12 bits, o incluso por encima de 17 bits.

Así como lograr el “rodamiento”, otro problema adicional es la sincronización. El receptor tiene una plantilla del formato de mensaje que es utilizada para sincronizar con la señal recibida, por ejemplo, sabe que después de un hueco del IPIP + IMIP, para esperar un bit de sincronización, después un byte de datos, después el IPIP, después otro bit de sincronización y byte de datos, etc. comparando esta plantilla con la señal de luz codificada recibida, el receptor puede sincronizarse con la señal. En modos de realización, con el fin de ayudar a la sincronización, los inventores han encontrado que el periodo de inactividad entre mensajes debería ser preferiblemente de al menos 4 símbolos del código de modulación relevante, por ejemplo, 4 símbolos de Manchester ternario.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, un formato de mensaje de ejemplo comprende:

(i) el uso de un formato de señal donde se repite de forma cíclica un mensaje (muchas veces) por el transmisor, por tanto permitiendo una recombinación (temporal) de huellas desde fotogramas de video consecutivos, conteniendo cada huella un mensaje recibido parcial, para tener un mensaje recibido completo, el tamaño del mensaje puede elegirse de tal manera que mediante repetición cíclica, eventualmente se puede recuperar el mensaje completo;

(ii) un mensaje que tiene paquete relativamente cortos (por ejemplo de 9 bits), separado por periodos de inactividad entre paquetes para permitir a un ecualizador reconstruir la forma de onda transmitida original en presencia de una ISI fuerte causada por una configuración de tiempo de exposición de cámara no controlable; y

(iii) utilizando una forma de Manchester ternario (TM), un código de modulación libre de DC, llevando a una supresión adicional de componentes de baja frecuencia, por tanto eliminando el parpadeo en frecuencias de símbolo bajas.

Son también posibles variaciones. Por ejemplo, aunque el código de modulación preferido es un Manchester ternario (que puede abreviarse con las iniciales TM), se podrían utilizar de forma alternativa otros códigos (preferiblemente libres de DC o de bajo contenido de DC sin parpadeo visible), por ejemplo, un Manchester convencional o sin retorno a cero (NRZ). Lo siguiente también describe adicionalmente varias elecciones particularmente ventajosas para los parámetros de formato (por ejemplo, IMIP). En modos de realización adicionales, el IPIP puede ajustarse al tiempo de exposición máximo. La longitud de símbolo TM también puede ajustarse al tiempo de exposición cuando el tiempo de exposición >IPIP. En más modos de realización adicionales, se puede utilizar una encriptación guiada para mensajes de longitud media, y/o paquetes cortos no encriptados para mensajes cortos.

Volviendo a la figura 2, se discuten ahora detalles adicionales. Tal y como se mencionó, la literatura existente asume que la fuente que se va a decodificar cubre casi o enteramente cada fotograma. Se asume que la duración de un mensaje sencillo que se va a decodificar es tal que se puede capturar en la huella de la fuente en un solo fotograma.

Se reconoce que las “líneas ocultas” 26 pueden constituir un problema debido a la sincronización entre los paquetes de datos y al disparo de los fotogramas. Se sugiere que se puede repetir un mensaje de tal manera que al menos una repetición satisface la condición de que es capturado completamente dentro de un solo fotograma. Sin embargo, los formatos de datos existentes para luz codificada aun así pueden sufrir de varios problemas.

Tal y como se discutió ya, un problema particular al utilizar una cámara de obturador rodante para la detección de luz codificada surge debido a que la fuente de luz que sirve como un transmisor de luz codificada puede cubrir sólo una fracción de las líneas de cada fotograma (ver de nuevo la figura 2). En realidad, sólo las líneas que cubren la fuente contienen píxeles que registran las variaciones de intensidad de la fuente de luz codificada. Todas las líneas y píxeles restantes no contienen información de luz codificada relacionada con la fuente de interés. Si la fuente es pequeña, se obtiene solo vistas cortas interrumpidas temporalmente de la fuente de luz codificada en cada fotograma y por lo tanto las técnicas existentes sólo permiten mensajes muy cortos.

Otro problema es que los teléfonos inteligentes actuales tales como los iPhone y los iPads no permiten controlar el tiempo de exposición Texp y la ISO mediante una “app”. Los algoritmos de control integrados automáticos existentes a menudo llevan a tiempos de exposición largos que, después de la detección de la cámara, llevan a una

interferencia entre símbolos (ISI) fuerte entre los símbolos digitales que son transmitidos de forma secuencial por la fuente de luz.

5 Además, la tecnología de controlador de LED actual sólo permite soluciones eficientes energéticamente baratas si el ancho de banda (tasa de símbolo) de la señal digital remitida es muy limitado (es decir una tasa de símbolo entre 1 y 8kHz). Para dichas frecuencias bajas, los efectos de parpadeo y estroboscópicos pueden llegar a ser serios, a menos que se tomen precauciones especiales en el formato de señal para suprimir frecuencias bajas. Tener sólo un código libre de DC no es siempre suficiente.

10 La presente divulgación describe un formato de señal que permite una combinación fiable de la información de fotogramas de video múltiples tal que los mensajes más largos que la "huella", incluso mensajes que tienen una duración de muchos fotogramas se pueden capturar y decodificar. Por otro lado, el formato de señal permite una eualización asíncrona (de tipo Wiener) para deshacer la ISI causada por la cámara en el receptor. Finalmente, el contenido de frecuencia de los mensajes puede ser tal que no hay efectos estroboscópicos visibles, incluso para
15 longitudes de mensajes que tengan una frecuencia de repetición de, por ejemplo, 18 Hz (frecuencia de parpadeo muy sensible).

Una captura de una señal de luz codificada típica en el transmisor es representada en la figura 9, que se describe a continuación. Se asume que la fuente de luz puede variar su intensidad de luz emitida (de forma instantánea) entre 0
20 y 1. En la figura 9, la intensidad de luz promedio (DC) se establece a 0,8, y la amplitud de la señal de luz codificada es igual a 0,1. La señal de luz codificada se superpone sobre el nivel alto (DC) promedio.

Un mensaje, en este ejemplo que tiene una duración de 161ms, consta de 3 paquetes, cada paquete comprendiendo 9 bits codificados TM. Mensaje he repetido de forma cíclica por el transmisor (3 repeticiones son mostradas en la figura 9). La tasa de símbolo TM es igual a 1 kHz (1000 símbolos TM por segundo).
25

Cada paquete de un mensaje en este ejemplo es rastreado por un periodo de inactividad entre paquetes de 33 símbolos TM (~33ms). Al final de cada mensaje, hay un periodo de inactividad entre mensajes (adicional) de 5
30 símbolos TM, resultando en un periodo de inactividad total de $33+5=38$ símbolos de inactividad entre el 3er paquete del mensaje actual y el primer paquete del siguiente mensaje. La figura 9 representa 3 repeticiones de mensaje, donde cada mensaje consta de 3 paquetes.

La figura 10 representa un mensaje sencillo de la figura 9, en donde la DC ha sido retirada y la amplitud de la señal ha sido hecha igual a 1. La parte activa de cada paquete consta de 9 bits codificados TM, lo que lleva a $2 \cdot 9 + 1 = 19$
35 símbolos TM. Se debe notar que el primer y el último símbolo TM de cada paquete tienen una amplitud de $\pm 0,5$, consistente con las reglas de codificación TM. El formato de mensaje, tal y como se describe en las figuras 9 y 10, se puede decodificar utilizando una cámara que tiene cualquier Texp dado tal que $T_{exp} \leq 1/30$. En general todos los parámetros tales como, por ejemplo, la tasa de símbolo TM, los periodos de inactividad, el código de modulación se pueden seleccionar para facilitar la detección.
40

La razón para una repetición cíclica del mensaje es que, en cada fotograma de una película de cámara de obturador rodante, sólo una pequeña parte del mensaje transmitido puede ser recuperable. El tamaño de la parte depende del tamaño de la fuente de luz de las imágenes de la cámara (huella), y de la duración del mensaje. Por ejemplo, si el tamaño de la fuente de luz es tal que sólo un 14% de las líneas de un fotograma son cubiertas por la fuente de luz, y
45 si la duración del mensaje está en el orden de 5 fotogramas (asumiendo una velocidad de grabación de 30 fotogramas/segundo), sólo aproximadamente un 3% de un mensaje es recuperable de forma potencial a partir de una película de un solo fotograma.

Si la duración del mensaje se elige de forma cuidadosa con respecto a la tasa de fotogramas de la película, fotogramas consecutivos de la película revelan diferentes partes del mensaje repetido de manera que, eventualmente, se recupera el mensaje completo.
50

La figura 8 representa como el número de fotogramas requerido para obtener un mensaje completo, depende de la duración del mensaje y del tamaño de la huella en la imagen para una tasa de fotograma de 29,97 fps.
55

Lo siguiente considera la relación mostrada en la figura 8. Para cada fotograma de duración T_f , se obtiene una vista de duración $T_{footprint}$ del mensaje. Una recolección de N huellas de N fotogramas consecutivos tiene que cubrir al menos 1 mensaje completo. Las huellas tienen que "discurrir" sobre las imágenes. Las huellas tienen una frecuencia de repetición igual a la tasa de fotograma ($= 29,97$ Hz), los mensajes tienen una frecuencia de repetición de $1/T$, y
60 estas frecuencias deben ser lo "suficientemente" diferentes.

También puede desearse minimizar N, ya que un N grande lleva a latencias grandes. También para una huella "pequeña", se puede desear un N pequeño, por ejemplo, $N = 30 \sim 1$ segundo.

Las desviaciones de frecuencia del transmisor llevan a variaciones de T_m . Algunas desviaciones pueden llevar a un "rodamiento lento" o incluso a una ausencia de rodamiento. N tiene que permanecer razonable para un cierto rango de duraciones de mensaje alrededor de un valor nominal.

5 Ahora se considera lo que ocurre para cubrir un mensaje con huellas sí:

- la huella α relativa = $T_{\text{footprint}}/T_f = 0,4$

- $0 < \alpha \leq 1$, (en la práctica por ejemplo, $0 < \alpha \leq 0,88$ debido a las líneas ocultas)

10 Si T_m es aproximadamente T_f , el mensaje difícilmente rueda (cada fotograma lee prácticamente la misma parte del mensaje). Pero si T_m es aproximadamente 1,5 veces T_f , el mensaje "cambia" de manera que cada fotograma ve partes alternativas del mensaje, pero unas partes se pierden de forma repetida.

15 Resulta que, si $\alpha < 1$, se obtienen huellas "no rodantes" si las duraciones T_m del mensaje son T_f del fotograma. Si $\alpha < 0,5$, se obtienen huellas "cambiantes" si T_m es un múltiplo de medio número entero de T_f (0,5, 1,5, 2,5,...).

En general, si $1/(n+1) < \alpha \leq 1/n$, donde N es un número entero, entonces se encuentran huellas "no rodantes" si:

$$20 \quad \frac{T_m}{T_f} \in \left\{ \frac{k}{m} \mid m = 1, \dots, n, \quad k \in N^+ \right\}$$

Resulta que el rodamiento puede ser ya suficiente si la relación anterior está "próxima" a una de las relaciones "no rodantes". También resulta que el rodamiento puede ser ya suficiente si la relación anterior está "próxima" a una de las relaciones "no rodantes".

25 El resultado es una relación complicada tal y como se muestra en la figura 8.

CODIGO DE MODULACION

30 El código de modulación preferido para tasas de bit bajas es un Manchester ternario (TM) debido a la supresión adicional de componentes de baja frecuencia que puede llevar a un parpadeo. Bajas tasas de bit podrían ser imperativas debido a dos razones: (i) la complejidad permisible limitada y la eficiencia requerida mínima para controladores de fuentes de luz LED; y/o (ii) para obtener una velocidad de señalización que pueda ser recuperada durante tiempos de exposición muy largos.

35 Comparando NRZ, Manchester y Manchester ternario, se ha de notar que NRZ (realmente: ningún código de modulación) tiene un contenido de DC muy alto. El código de modulación Manchester, bien conocido para la grabación magnética, y también propuesto por el estándar IEEE de Comunicación de Luz Visible (VLC), es también denominado un código libre de DC, es decir, el contenido espectral a una frecuencia cero es igual a 0. El código de modulación de Manchester ternario es denominado un código de modulación libre de DC^2 , que implica que la densidad espectral alrededor de DC permanece mucho más pequeña en comparación con un código libre de DC como el Manchester. En el espectro para frecuencias bajas, T_m es por tanto ventajoso en comparación a Manchester. Para parpadeo, frecuencias por encima de 100 Hz son importantes.

45 Dado que el formato de señal hace uso de paquetes relativamente cortos, intercalados con los símbolos de inactividad, se puede garantizar un mensaje que va a estar libre de DC^2 , dejando cada paquete que sea libre de DC^2 . Esto se logra modulando los bits de usuario utilizando la respuesta de impulso TM $\{-0,5, 1, -0,5\}$. Se ha de notar que un paquete de 9 bits de usuario lleva a un paquete TM codificado de 19 símbolos TM.

50 Para tasas de bit más grandes, se contempla otros códigos de modulación, quizás incluso códigos de modulación libres de DC multinivel uniformes (por ejemplo Manchester cuaternario), dado que las densidades espectrales no llevan a un parpadeo visible.

55 Los códigos de modulación que se van a utilizar se pueden definir de una manera que permiten algo de libertad en la implementación actual del controlador, por ejemplo, para controladores que tienen una implementación de modulación de amplitud (AM) o para controladores que tienen una implementación de modulación de anchura de pulso (PWM). Esto implica que en contraste con los formatos de modulación tradicionales, la forma actual de las formas de onda que se va a transmitir no es exactamente definida para la luz codificada.

60 Una manera preferida de definir un código de modulación para luz codificada podría ser definir las reglas y valores aceptables de la salida de un filtro T completo aplicado a la forma de onda de salida del modulador en puntos de muestreo óptimos.

LONGITUD DE PAQUETE

Volviendo a la cuestión de la longitud del paquete, la longitud del paquete se elige de forma preferible de tal manera que el patrón de datos en el peor de los casos es aún recuperable bajo tiempos de exposición en el peor de los casos.

Un ejemplo es mostrado en la figura 11. Se considera una forma 36 de onda transmitida correspondiente a un paquete codificado TM de 9 bits que consta de todos ($f_{\text{symbol}}=1\text{Hz}$). Si la forma de onda es detectada por una cámara que tiene un $T_{\text{exp}} = 1/125$ [s], se puede obtener una forma 38 de onda recibida unidimensional en la salida de la cámara, mediante un procesamiento adecuado de una secuencia de fotogramas de video. Se ha de notar que la señal recibida, que es una versión distorsionada de la señal transmitida, se puede ver como si estuviera generada por la cámara, envolviendo la señal transmitida mediante una función de caja rectangular, correspondiente a una acción de filtro FIR del T_{exp} (promedio de movimiento sobre T_{exp} segundos).

El filtrado de media móvil del T_{exp} lleva a una interferencia entre símbolos (ISI) entre los símbolos TM del paquete. Se ha de notar la reducción de la amplitud de la señal recibida con respecto a la señal transmitida entrante. También se ha de notar que en la última mitad del paquete, se ha reducido a cero la amplitud de la señal recibida. Finalmente se ha de notar que la señal recibida se extiende más allá de la señal transmitida por $T_{\text{exp}}=8\text{ms}$ debido al filtrado tipo FIR casual por T_{exp} . Es la tarea del procesamiento de señal en el receptor para reconstruir la señal transmitida a partir de la señal recibida.

La figura 12 muestra la misma situación en el dominio de frecuencia. La curva 40 representa el valor absoluto de la representación espectral (la transformada de Fourier) de un paquete codificado TM de 9 bits que consta de todos. La curva 42 representa el valor absoluto de la función de transferencia del "filtro de media móvil de T_{exp} ". La señal recibida en el dominio de frecuencia es el producto escalar de ambas representaciones espectrales. Se ha de notar que los ceros del filtro ISI están particularmente en detrimento de la señal recibida, dado que la señal a esas frecuencias (y en las frecuencias en las inmediaciones de los ceros) efectivamente son retiradas de la señal transmitida.

Si se desea que la señal transmitida sea recuperable a partir de la señal recibida, se requiere que al menos energía de señal suficiente permanezca después de filtrado de la señal transmitida con el filtro ISI para todas las elecciones razonables de T_{exp} . Para que esto suceda, la representación espectral de la señal transmitida tiene que ser "extendida" de forma suficiente a través de muchas frecuencias (para todas las elecciones posibles del contenido de bit de un paquete). Este resulta ser el caso si la longitud de paquete están el orden de 9 bit.

Por otro lado, si se quisiera hacer un paquete (que consta de todos) más largo de 9 bits (digamos 17 bits), la representación espectral de dicho paquete largo todavía estaría concentrada alrededor de 500 Hz, pero su anchura espectral podría ser aproximadamente $\frac{1}{2}$ del paquete original. Resulta que en ese caso se destruye demasiada energía de señal por el filtro ISI.

Los inventores han encontrado que, utilizando la modulación TM con $f_{\text{symbol}}=1\text{kHz}$, para una longitud de paquete de digamos 9 a 12 bits, se puede recuperar la señal transmitida de una forma lo suficientemente exacta para todos los $T_{\text{exp}} \leq (1/30)\text{s}$, dado que el periodo de inactividad entre paquetes (IPIP) es al menos T_{exp} . Se ha de notar que si $\text{IPIP}=(1/30)\text{s}$, un formato de señal transmitida fijo funciona para todos los $T_{\text{exp}} \leq (1/30)\text{s}$. Esto se puede utilizar para proporcionar un formato de señal universal.

Si la longitud de paquete está entre 12 y 17 bits de largo, resulta que la altura de ojo mínima del patrón de ojo se determina sólo por unos pocos patrones de bits "en detrimento" que tienen una representación espectral pobre que puede destruirse por el "filtro de media móvil de T_{exp} " de tal manera que es irrecuperable. Si estos patrones de bits en detrimento son sólo unos pocos, se puede evitar que sufran una denominada "encriptación guiada". Sin embargo, resulta que se requiere del orden de 16 diferentes patrones de encriptación para aplicar una encriptación guiada útil. Dado que el índice del patrón de encriptación tiene que ser codificado en cada paquete, el número de bits útiles se reduciría de nuevo a 8 o 9 por paquete. De manera que para mensajes repetidos muy cortos, los paquetes cortos no encriptados se puede considerar que son los más útiles. Para mensajes más largos, la encriptación guiada puede ser muy útil.

MENSAJES CONSTRUIDOS A PARTIR DE PAQUETES MÚLTIPLES

Para transmitir una cantidad útil de información desde una fuente de luz de un receptor de cámara, los mensajes son contruidos constando de una concatenación de p paquetes, donde cada paquete tiene su propio contenido de bit. Entre cada dos paquetes, ahí al menos un período de inactividad entre paquetes (IPIP) para evitar la intermodulación ISI entre paquetes diferentes. Al final de un mensaje, ahí un período de inactividad entre mensajes (IMIP) adicional. Un mensaje que consta de p paquetes se repite de forma cíclica.

En un modo de realización referido, $p=3$, de manera que, efectivamente, 3 bytes de información (24 bits) son transmitidos por mensaje.

PERIODO DE INACTIVIDAD ENTRE PAQUETES

5 El propósito del periodo de inactividad entre paquetes (IPIP) es limitar la ISI inducida por el tiempo (T_{exp}) de exposición de la cámara a un solo paquete. En un modo de realización preferido, la duración del IPIP será igual al tiempo de exposición esperado máximo, T_{exp_max} . Esto puede proporcionar un formato IPIP universal, dado que permite recuperar los mensajes de cualquier T_{exp} , si:

$$T_{exp} \leq IPIP = T_{exp_max}.$$

10 Los inventores también han encontrado que los mensajes son recuperables si $T_{exp} > IPIP$, para tasas de símbolo TM elegidas de forma cuidadosa, donde las tasas de símbolo TM elegidas de forma cuidadosa entonces dependen del T_{exp} real utilizado por la cámara. Los formatos que explotan la velocidad de señalización mejorada para este caso pertenecerán a los "formatos de señal negociada", dado que la fuente de luz que transmite y el receptor de cámara estarán de acuerdo en la elección de los parámetros de transmisión tales como la tasa de símbolo TM, el número de paquetes por mensaje, el IPIP y/o el IMIP, para asegurar que se reciban las transmisiones de luz codificada reales. La elección de estos parámetros depende de las configuraciones de cámara disponibles de, por ejemplo, el T_{exp} , la tasa de fotogramas, la tasa de línea y la huella de la fuente de luz.

20 Se ha de notar, que aunque modos de realización del presente documento son descritos en términos de que un IPIP sigue a cada paquete y un IMIP extra que está marcado en el final del último IPIP, en una descripción alternativa o implementación se puede incluir un IPIP sólo entre paquetes adyacentes del mismo mensaje, con el periodo de inactividad total siguiendo el final del último mensaje que es el IMIP.

25 PERIODO DE INACTIVIDAD ENTRE MENSAJES

El periodo de inactividad entre mensajes (IMIP) es un periodo de inactividad que está anexado después del último IPIP que rastrea el último paquete de un mensaje. El IMIP puede medirse en símbolos TM.

30 El IMIP tiene dos objetivos:

- (i) asegurarse de que la duración de mensaje total es tal que satisface "propiedades de rodamiento" adecuadas dada la tasa de fotograma, es decir, de manera que las huellas de fotogramas consecutivos revelen el mensaje completo tan rápido como sea posible; y/o
- 35 (ii) el 2º propósito del IMIP es proporcionar una asimetría del patrón de paquetes en periodos de inactividad dentro de la repetición cíclica de mensajes. Esta propiedad se puede utilizar en la sincronización cíclica de un receptor.

ELEMENTOS DE SINCRONIZACIÓN DE FORMATO

40 Para propósitos de sincronización, son significativos dos elementos del formato de señal.

- 45 (i) el uso del primer bit de cada paquete de 9 bit como 1 bit de sincronización. En un modo de realización referido, el primer bit del primer paquete de un mensaje será uno, mientras que el primer bit de todos los paquetes restantes será cero.
- (ii) el uso del periodo de inactividad entre mensajes (IMIP). La presencia de un IMIP distinto de cero interrumpe la estructura de paquete temporal regular en un mensaje repetido, debido a que el tiempo de inactividad total después del último paquete de un mensaje es más largo que los tiempos de inactividad entre los otros paquetes.
- 50 En un modo de realización referido, el IMIP podrá tener una duración de al menos 4 símbolos.

PARÁMETROS DE EJEMPLO

55 Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, algunas elecciones de parámetros de ejemplo son:

- $f_{symbol} \geq 1$ kHz (parpadeo y estrobo),
- duraciones de paquete contempladas:
- 60 - alrededor de 52 ms (≥ 49 ms) para $f_{symbol} \sim 1$ kHz
- alrededor de 26 ms ($\geq 24,5$ ms) para $f_{symbol} \sim 2$ kHz
- alrededor de 13 ms ($\geq 12,25$ ms) para $f_{symbol} \sim 4$ kHz,
- 65 - las duraciones de mensaje T_m son un múltiplo de número entero de las duraciones de paquete, y/o

- duraciones de mensaje interesantes: alrededor de 26, 52, 104 ms.

Por ejemplo

5 - el tiempo de exposición es menor que o igual a (1/30)s, la tasa de símbolo es 1 kHz y el paquete es 52 ms incluyendo un periodo de inactividad de paquetes;

- el tiempo de exposición es menor que o igual a (1/60)s, la tasa de símbolo es 2 kHz y el paquete es 26 ms incluyendo un periodo de inactividad de paquetes;

10 - el tiempo de exposición es menor que o igual a (1/120)s, la tasa de símbolo es 4 kHz y el paquete es 13 ms incluyendo un periodo de inactividad de paquetes.

Otras selecciones de parámetro de ejemplo:

15 - formato de 3 paquetes (con CRC) que tiene una duración de 158 ms @ tasa de símbolo de 1 kHz, con los 158 ms correspondientes a un mensaje de 3 bytes que tiene un IPIP de 33 símbolos y un IMIP de 2 símbolos; o

20 - una longitud de paquete de 70 símbolos ~35 ms @ 2 kHz, con los 35 ms correspondientes a un mensaje de 3 bytes que tiene un IPIP de 3 símbolos y un IMIP de 4 símbolos abrir paréntesis por ejemplo, este formato puede ser utilizado donde Texp es controlado para ser menor de (1/500)s).

25 En un caso de formato negociado, el controlador puede estar dispuesto para seleccionar entre una lista de múltiples combinaciones de parámetros, comprendiendo cualquiera de una o más de estas combinaciones, y/u otras combinaciones. En un formato universal, se elige previamente una combinación particular para satisfacer tantas cámaras (o más bien tiempos de exposición) como sea posible.

COMPROBACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA (CRC)

30 En un modo de realización preferido, el mensaje consta de varios paquetes, donde cada paquete contiene 1 Byte de información. En caso de que se utilice un CRC, se sugiere que el último byte de cada mensaje sea un CRC de 8 bits.

35 Debido a que los resultados de decodificación repetidos entregados por un receptor que decodifica el formato de señal repetido de forma cíclica, se pueden obtener potencialmente muchas realizaciones del mensaje transmitido, lo cual permite que se mejore la fiabilidad de un mensaje recibido comparando los resultados de decodificación de variantes decodificadas consecutivas del mismo mensaje.

40 En un modo de realización preferido, el CRC se caracteriza por una carga previa y una inversión de paridad. La carga previa puede ser específica de la aplicación, por tanto permitiendo a un receptor distinguir entre mensajes de diferentes aplicaciones en uso en el mismo entorno. Se ha de notar que hay una compensación entre el número de cargas previas diferentes en uso, y la capacidad de detección de error efectiva del CRC.

MENSAJES MÚLTIPLES

45 Los inventores han encontrado que se puede transmitir una concentración de mensajes m_i diferentes, donde cada mensaje m_i se repite N veces, donde N es un número suficiente de veces tal que un receptor de cámara puede reconstruir de forma fiable un mensaje m_i completo, dada la huella de la fuente de luz de transmisión. Después de N repeticiones del mismo mensaje m_i , la fuente de luz puede transmitir un mensaje m_{i+1} completamente diferente, que tiene los mismos parámetros de señal, solo concatenando, digamos N, repeticiones de mensaje m_{i+1} justo después de m_i . Resulta que un receptor es capaz de reconocer un mensaje reconstruido de forma coherente observando el CRC.

REENSAMBLADO DE MENSAJE

55 Lo siguiente describe un proceso de reensamblado o de "cambio" de fotogramas de video para la recuperación de mensaje de luz codificada por una cámara. El receptor recibe una señal formateada tal y como se describe anteriormente y reensambla las partes del mensaje en un mensaje completo, que es entonces proporcionado para un procesamiento posterior.

60 En los modos de realización los procesos de reensamblado comprenden lo siguiente.

(i) para cada fotograma múltiple, establecer una muestra por línea de imagen tal y como se describió anteriormente (ver de nuevo las muestras 19 tomadas de líneas 18 en la figura 2).

(ii) recolectar todas las muestras (activas) para un fotograma dado en una secuencia de tiempo (cada una posicionada en el tiempo respectivo en el cual la muestra de esa línea fue situada dentro del fotograma. Esta secuencia forma una "señal marginal" o una "señal de fotogramas" para cada fotograma.

5 (iii) después extender las señales con ceros resultando en una "señal marginal extendida" o una "señal de fotograma extendida", donde la duración de cada señal extendida es n veces la duración del mensaje (siendo n un número entero) y donde la duraciones más larga que la duración de un fotograma.

10 (iv) después las muestras activas son alineadas en el tiempo, es decir, se desplazan las muestras por línea T_{frame} a la derecha dentro del fotograma de tiempo o escala definido por la señal extendida. Esto se hace de forma cíclica, es decir, de una manera en replegado, replegándose alrededor más allá del final de la longitud de señal de fotograma extendida. De esta manera, la posición desplazada de las muestras dentro del fotograma de trabajo extendido es tal que facilita el reensamblado.

15 (v) después, las muestras son colapsadas (es decir reensambladas). En modos de realización diferentes se pueden encontrar reconstrucciones diferentes desplazando una medida adicional.

Una vez que se ha reestructurado, la señal puede ser filtrada para eliminar la interferencia entre símbolos (ISI), por ejemplo, utilizando un filtro Wiener.

20 En modos de realización, el filtro ISI es lo suficientemente robusto para manejar huecos en los datos reensamblados (esta robustez siendo al menos en parte un resultado del código de modulación, el formato del mensaje y el filtro Wiener). El proceso también puede permitir una manipulación elegante de fotogramas omitidos.

25 En modos de realización adicionales, como una característica adicional, el proceso puede también permitir al receptor corregir desviaciones de reloj relativas a la temporización de T_m o T_{frame} basándose en la correlación de señales reconstruidas.

30 Un ejemplo del proceso de reensamblado de mensajes se discutirá con más detalle en breve, pero primero algunos detalles de ejemplo del final frontal del receptor son elaborados con referencia las figuras 1 a 4.

35 En modos de realización, el receptor de luz codificada digitalmente basado en cámara divulgado en el presente documento es diferente a la clase de receptores bien conocidos de señales digitales que utilizan una comunicación de radio o de IR. Tanto la estructura general del receptor de luz codificada así como los algoritmos detallados para realizar las tareas auxiliares dentro del receptor de luz codificada, son bastante distintos.

40 La entrada de un receptor de luz codificada basado en cámara consta de una película tomada en un formato conocido. Por ejemplo, un formato de video bien conocido es 480p, un formato de escaneo progresivo que tiene fotogramas tomados a 29,97 fotogramas por segundo (fps), donde cada fotograma consta de 480 líneas y cada línea contiene 640 píxeles. El receptor de luz codificada consta de un procesamiento de señal digital aplicado a esta película para obtener el contenido digital de la fuente de luz modulada.

45 El procesamiento de señal realizado por el receptor puede comprender un procesamiento de señal 2D y un procesamiento de señal 1D. El procesamiento de señal 2D puede comprender:

(i) selección de un color apropiado (R, V o A) o una combinación lineal de colores para extraer la señal de luz codificada;

50 (ii) segmentación de la imagen utilizando un enfoque de mancha, identificando de forma eficiente regiones en la imagen que contienen fuentes de luz codificada;

(iii) identificar "píxeles activos" de un filtro espacial dentro de cada mancha;

55 (iv) compensación del movimiento eficiente (independientemente de cada fuente) utilizando marginal; y/o

(iv) señal de computación "marginal" combinando los píxeles activos por línea (muestras 19 de computación que resultan de cada línea 18 en la figura 2).

El procesamiento de señal 1D puede comprender:

60 (i) utilizar correlaciones dentro de un fotograma para estimar el reloj de transmisión (trabaja mejor para huella >> duración de mensaje);

65 (ii) asumir el uso del formato de señal descrito anteriormente, donde un mensaje es repetido cíclicamente por el transmisor, y explotar el conocimiento del tiempo de repetición del mensaje (T_m) y el conocimiento del número de

fotogramas por segundo (Tframe) para reconstruir un mensaje completo a partir de capturas parciales obtenidas en cada fotograma (esto es el proceso de reensamblado que se va a describir con mayor detalle a continuación);

(iii) utilizar correlaciones entre señales reconstruidas sucesivas para estimar el reloj de transmisión;

(iv) utilizar un filtrado de Wiener robusto en un solo periodo del mensaje para mitigar la ISI causada por el Texp;

(v) aplicar una interpolación de Wiener robusta si el procedimiento de reensamblado ha dejado agujeros en la reconstrucción;

(vi) encontrar una sincronización circular global mediante procesamiento utilizando un patrón de sincronización;

(vii) decodificar los bits tomando decisiones de los puntos de muestreo óptimos dados por la sincronización circular global; y/o

(viii) hacer una comprobación CRC en mensajes reconstruidos consecutivos. Si m de n reconstrucciones consecutivas tienen un CRC=OK, aceptar el mensaje.

Para un formato de mensaje particular y una huella dada, puede tomar por ejemplo 30 fotogramas consecutivos reensamblar un mensaje completo. Si uno tiene una grabación de 2 segundos (digamos, 60 fotogramas), el receptor puede generar 31 realizaciones diferentes del mismo mensaje. En modos de realización, comparando estos resultados de decodificación diferentes es posible ayudar a la sincronización del reloj receptor con la señal recibida.

Teniendo en cuenta la selección de color apropiada, resulta que la selección del color apropiado puede ser significativa para recuperar la señal de luz codificada. Por ejemplo el color verde (V) se caracteriza por la densidad de píxeles más alta en la cámara, por tanto dando la resolución espacial más alta (y por tanto temporal) de una señal de luz codificada. Esto puede ser de importancia si la luz codificada está utilizando una frecuencia de símbolo alta (una anchura de banda amplia), por otro lado, resulta que el color azul (A) es favorable si la fuente de luz tiene una densidad alta y si Texp es lo bastante largo, dado que este color tiende a conducir a un menor recorte de los píxeles.

Con referencia las figuras 2 a 4, por segmentación de imagen, modos de realización de la presente divulgación utilizan un enfoque de "mancha" para reconocer regiones en una imagen que puede n ser asociadas a una lámpara que transmite posiblemente información de luz codificada. Típicamente, una mancha es una región de intensidad alta en una imagen (por ejemplo, ver la figura 3). Un algoritmo puede reconocer y diferenciar diferentes manchas en una imagen. Por ejemplo utilizando bordes de las manchas se permite un seguimiento de forma eficiente de una mancha y limitando el procesamiento de señal en 2D asociado con cada mancha en los fotogramas diferentes de la secuencia de video.

Para encontrar píxeles que contribuyen dentro de una mancha, sólo esos píxeles que son modulados, es decir, que tienen variaciones de intensidad suficientes debido a la fuente de luz modulada, contribuyen de forma efectiva la señal. Otra fuente de píxeles efectivamente sólo producen "ruido" U otros efectos secundarios no deseados.

Típicamente, los píxeles que están recortados también son retirados para una consideración posterior (por ejemplo, ver la figura 4). También los píxeles que tienen una intensidad insuficiente son retirados. El conjunto resultante de "píxeles que contribuyen" pertenece a una fuente de luz que se puede representar como un filtro 2D espacial binario.

Lo siguiente describe un algoritmo que funciona en las muestras que son obtenidas como las "marginales" en cada fotograma (las muestras 19 en la figura 2, es decir, las muestras "combinadas de línea").

La figura 3 representa una imagen binaria generada por receptor que indica la fuente de interés. La figura 4 muestra, en binario, los píxeles que contribuyen de la fuente seleccionada en cada fotograma. Se ha de notar que los píxeles en la parte central de la fuente no contribuyen, debido a que esos píxeles están sobre expuestos, es decir, recortados.

La figura 13 muestra "señales marginales"(constituidas de muestras 19 de la figura 2) de cada uno de los 100 fotogramas consecutivos tomados en la película, cada muestra obtenida mediante una operación adecuada de los píxeles activos de su línea correspondiente, es decir, cada "señal marginal" es la señal obtenida a partir de un fotograma 16 dado, con las muestras 19 tomadas desde cada línea 18 activa del fotograma que está posicionado en el tiempo en la respectivos tiempos dentro de la duración del fotograma en los cuales fueron muestreados. Se ha de notar que en la figura 2 el eje de tiempo que corresponde a muestras consecutivas de un solo fotograma discurre desde arriba a abajo, mientras que en la figura 13, el eje de tiempo de muestras consecutivas en un solo fotograma discurre de izquierda a derecha (con la página apaisada). En la figura 13, los 100 fotogramas de video consecutivos (generando cada fotograma una sola señal unidimensional) son apilados unos encima de otros, yendo los fotogramas consecutivos de arriba a abajo.

También se ha de notar, que aunque Tframe es igual aproximadamente 1/30~33 ms, la señal marginal de un fotograma simple tiene una duración de sólo aproximadamente 26,5 ms debido a las líneas 26 ocultas. En la parte inferior de la figura 13 se muestra una barra 46 que indica las muestras que se originan a partir de las líneas que cubren la fuente de luz en cada fotograma, es decir, sólo esta parte de cada fila contiene muestras que se originan de la fuente. Para este ejemplo, resulta que la huella de la fuente con respecto a un fotograma, FSF ~0,14, es decir, sólo aproximadamente un 14% de las líneas por fotograma realmente contienen píxeles de la fuente.

En la figura 14 se muestra cómo usar las duraciones Tm y Tframe conocidas para generar “señales marginales extendidas” o “señales de fotograma extendidas”, siendo cada una versión extendida de la señal muestreada desde un fotograma respectivo. Esto se hace como sigue.

(i) se define para cada fotograma un tramo, es decir, una región temporal alrededor (por ejemplo después de extenderse) de las muestras activas de la figura 13, de tal manera que se obtiene la duración de tramo de m veces, Tm, donde m es un número entero elegido de forma conveniente. Se ha de notar que los ceros pueden añadirse o retirarse fuera de las muestras activas.

(ii) computar $\text{num_periodos} = \text{límite} (T\text{frame}/(m \cdot T_m))$, donde “límite” significa redondear al número entero más cercano.

(iii) repetir de forma cíclica cada tramo num_periodos veces de tal manera que se tiene una “señal marginal extendida” para cada fotograma que tiene una duración total de al menos Tframe. Se ha de notar que la señal marginal extendida siempre tiene una duración que es más grande que Tframe, y que es un múltiplo de número entero de Tm.

En el ejemplo, Tm = 158 ms; Tframe = 33,36, de manera que m=1 y num_periodos = 1, y cada fotograma se extiende mediante ceros para obtener un tramo de 158 ms (= 1 periodo del mensaje). Se ha de notar que la observación útil actual en cada fotograma (tramo) es sólo una fracción de aproximadamente 0,03 de un mensaje completo, indicada por la barra 48 la figura 14. Se puede decir que la huella de la fuente con respecto a un mensaje, FSM, ~0,03.

Se ha de notar que en modos de realización no es necesario utilizar dos números enteros m y num_periodos separados. El punto es determinar un período de tiempo que sea un múltiplo de número entero de la longitud del mensaje (duración) Tm, y que se más largo que la longitud del fotograma (duración) Tframe. Este periodo define una escala de tiempo de referencia o un fotograma de referencia dentro del cual las señales obtenidas a partir de fotogramas diferentes se pueden alinear, tal y como se describe ahora.

La alineación en el tiempo de las observaciones que se originan a partir de fotogramas diferentes se realiza utilizando Tframe y el DC del fotograma de referencia o escala ahora definidos determinados como se explica más abajo. La “señal marginal extendida” de cada línea es desplazada Tframe hacia la derecha (en la dirección de tiempo positiva) con respecto a la señal marginal extendida de su fotograma previo. Sin embargo, como las señales marginales extendidas fueron hechas un múltiplo de la duración del mensaje Tm, y debido a que el mensaje transmitido se repite de forma cíclica, se puede reemplazar el desplazamiento de cada señal marginal extendida por un desplazamiento (de replegado) cíclico, por tanto obteniendo los resultados en la figura 15.

Es decir, tal y como se ha mencionado, la “extensión” discutió anteriormente proporciona un periodo de referencia de sincronización, que define un fotograma de trabajo o escala dentro del cual se posiciona las señales obtenidas desde cada fotograma. Este periodo de referencia tiene una longitud que es un múltiplo de número entero de la duración del mensaje Tm. Además, la escala o fotograma de trabajo define un replegado, es decir, más allá del final del periodo de referencia de sincronización, la escala o el fotograma de trabajo envuelve de vuelta hasta el comienzo del periodo de referencia. Por tanto en el desplazamiento de las señales de un fotograma dado justo por Tframe con respecto a su fotograma precedente provoca que una porción de esa señal de fotograma se desplace “fuera del final” o “fuera del lado a mano derecha” de la escala o fotograma de referencia (más allá del periodo de referencia de sincronización, es decir, más allá del múltiplo de número entero de Tm que ha sido definido para este propósito) entonces la porción de esa señal continúa reapareciendo en el comienzo de la escala o fotograma de referencia (comenzando desde un tiempo cero con respecto al periodo de referencia de sincronización).

Se ha de notar que en los modos de realización, necesita ser necesario “extender” las señales desde cada fotograma (las “señales marginales”) añadiendo ceros. Esto es sólo una forma de implementar la idea de crear un fotograma de replegado de referencia que es un múltiplo de número entero de la duración del mensaje Tm. Una forma equivalente de implementar o considerar esto podría ser que este periodo de referencia de temporización (que es un múltiplo de número entero de Tm) define un “lienzo” sobre el cual colocar las señales de cada fotograma, y sobre el cual desplazarlos sus múltiplos respectivos de Tframe de una manera replegada.

Se ha de notar también que en todas las señales marginales extendidas desplazadas de forma cíclica, el receptor mantiene el seguimiento de las localizaciones de las muestras activas originadas a partir de la fuente de luz codificada.

Teniendo resultados como en la figura 15, el receptor puede ahora, para cada muestra de tiempo del mensaje, buscar en la dirección vertical fotogramas que tengan una muestra de contribución válida en esa posición.

5 A partir de FSM que es de aproximadamente 0,03, se puede esperar que tome al menos $(0,03)^{-1} \sim 33$ fotogramas para recuperar un mensaje completo. Típicamente, debido a un solapamiento, en los modos de realización el receptor puede necesitar aproximadamente el doble de muchos fotogramas para una recuperación completa.

10 De la figura 16, se puede apreciar que el decodificador, en el ejemplo, necesita 70 fotogramas consecutivos para una reconstrucción de un mensaje completo (de una película de ~ 2 segundos). Dado que cada 70 fotogramas consecutivos dan una reconstrucción, un video de 100 fotogramas da 31 reconstrucciones diferentes (a pesar de que son dependientes).

15 La figura 17 muestra el resultado de la reconstrucción 48 (y la salida de la ecualización 50 de Wiener robusta) del primer mensaje reconstruido. La longitud de la barra 52 en negrita, en la parte superior de la figura indica cual fracción ($\sim 3\%$, $\sim 5\text{ms}$) del mensaje completo es obtenida a partir de un solo fotograma en este ejemplo.

20 En modos de realización adicionales, el procedimiento descrito anteriormente también puede tratar los denominados "fotogramas omitidos". La suposición es que un fotograma posiblemente omitido es detectado conservando los tiempos de grabación de fotograma que son dados por la cámara. Si se omite un fotograma, la señal marginal correspondiente nos tendrá un soporte válido en las figuras 16 y 17. Por lo tanto, el algoritmo de reensamblado descartará de forma automática el fotograma correspondiente.

25 En más modos de realización adicionales, observando las correlaciones entre diferentes señales reconstruidas (31 de ellas en la figura 17), se pueden corregir las desviaciones de reloj entre el transmisor y el receptor. Si todos los relojes están en una perfecta sincronización (asumiendo un conocimiento perfecto de T_m y T_{frame}), estas señales reconstruidas diferentes serán alineadas perfectamente verticalmente (efectos de ruido diferentes del módulo). Una desviación de reloj se mostrará como un desplazamiento distinto de cero de la mejor correlación. De esta manera, el receptor se puede adaptar al reloj del transmisor. Resulta que este método funciona, incluso si la señal recibida está seriamente corrompida por la ISI provocada por el tiempo de exposición de la cámara.

30 El número mínimo de fotogramas requeridos con el fin de conseguir un reensamblado completo se describe ahora.

Se ha de considerar de nuevo lo que sucede para cubrir un mensaje con huellas si:

35 - la huella relativa $\alpha = T_{\text{footprint}}/T_f = 0,4$

- $0 < \alpha \leq 1$, (en la práctica, por ejemplo, $0 < \alpha \leq 0,88$ debido a las líneas ocultas)

40 Si T_m es aproximadamente T_{frame} , la alineación de los mensajes se parece a la figura 18.

Si T_m es aproximadamente 1,5 veces T_{frame} , la alineación de los mensajes se parece a la figura 19.

45 Resulta que si $\alpha < 1$, se obtienen huellas "no rodantes" y las duraciones de mensaje T_m son un múltiplo de la duración de fotograma T_f . Si $\alpha < 0,5$, se obtienen huellas "cambiadas" si T_m es un múltiplo de la mitad de número entero de T_f (0,5, 1,5, 2,5...).

Tal y como se describió anteriormente en relación con la figura 8, es general si $1/(n+1) < \alpha \leq 1/n$, donde n es un número entero, entonces se tienen duraciones de mensaje T_m no rodantes si:

50
$$\frac{T_m}{T_f} \in \left\{ \frac{k}{m} \mid m = 1, \dots, n, \quad k \in \mathbb{N}^+ \right\}$$

Se ha de notar que las singularidades para un m pequeño son más amplias que para un m más grande.

55 Para duraciones de mensaje no rodantes $T_m = T_0$, se define m_0 , el m más pequeño de manera que $m_0 \cdot T_0 = k_0 \cdot T_{\text{frame}}$, como el orden del T_0 no rodantes. $\text{CGD}(m_0, k_0) = 1$.

Los números m_0 y k_0 determinan el patrón repetido y las huellas y mensajes en las inmediaciones de T_0 : aproximadamente k_0 huellas no rodantes van en m_0 mensajes.

60 Se ha de considerar un mensaje de duración $T_m \sim T_0$ en las proximidades de una duración de mensaje no rodante T_0 : después de una vuelta de m_0 mensajes, hay k_0 huellas equidistantes separadas que cubren parcialmente el mensaje.

La parte no cubierta es: $T_0 - k_0 \cdot \alpha \cdot T_{\text{frame}}$, dividido en k_0 partes iguales de tamaño T_g , donde

$$T_g = (T_0 - k_0 \cdot T_{frame} \cdot \alpha) / k_0 = (T_0 - m_0 \cdot T_0 \cdot \alpha) / k_0 = T_0(1 - m_0 \cdot \alpha) / k_0$$

La figura 18 muestra una alineación en el tiempo de mensajes con huellas consecutivas donde $\alpha = 0,4$; próximo a $m_0 = 1$, $k_0 = 1$, aquí el mensaje no discurre de forma significativa y cada fotograma de casi la misma parte del mensaje (rodamiento sólo muy lentamente).

La figura 19 muestra una alineación en el tiempo de mensajes con huellas consecutivas en otro caso donde $\alpha = 0,4$; próximo a $m_0 = 2$, $k_0 = 3$. Aquí sólo se ve "el cambio".

Después de 1 vuelta de m_0 mensajes, hay k_0 huecos cada duración T_g que tienen que ser cubiertos por los desplazamientos incrementales de las huellas en las siguientes vueltas.

Considerando un desplazamiento ΔT de huellas desde una a la siguiente vuelta:

$$\Delta T = m_0 \cdot |T_m - T_0| \text{ [ms]}$$

- se necesitan $\sim 1 + T_g / \Delta T$ vueltas para cubrir el mensaje completo

- $1 + T_g / \Delta T$ vueltas corresponden a $N_f = (1 + T_g / \Delta T) \cdot k_0$ fotogramas

$$N_f \approx \left(1 + \frac{T_g}{\Delta T}\right) \cdot k_0 = k_0 + \frac{T_0(1 - m_0 \cdot \alpha)}{|m_0 T_m - m_0 T_0|} = k_0 + \frac{T_0(1 - m_0 \cdot \alpha)}{m_0 |T_m - T_0|}, \quad m_0 \leq n$$

Se ha de notar el comportamiento hiperbólico de N_f para T_m en las inmediaciones de T_0 . Se ha de notar también el efecto de m_0 y T_0 en la "anchura" de una singularidad.

FILTRADO DE WIENER ROBUSTO

Lo siguiente describe otra parte del decodificador que permite a la implementación anterior tener un rendimiento considerablemente mejor y permitir al dispositivo ser utilizado con un rango de cámaras mucho más amplio.

Se introduce un filtro de Wiener robusto, que puede ser utilizado, por ejemplo, para ecualizar una señal que está corrompida mediante un filtro $H(f)$ que tiene parámetros desconocidos, y mediante un ruido adicional. El Wiener robusto es un filtro constante que produce resultados óptimos en un sentido MSE, asumiendo que la distribución de probabilidad de los parámetros de filtro es conocida.

La teoría del filtro Wiener en sí misma es conocida en el procesamiento de señal digital, y ha sido utilizada de forma extensiva desde la Segunda Guerra Mundial. Los filtros Wiener pueden, por ejemplo, ser utilizados para la estimación de una señal distorsionada (linealmente) en presencia de ruido. Un filtro (ecualizador) Wiener entonces proporciona el mejor resultado (error medio cuadrático, MSE).

En el filtrado Wiener clásico (frecuencia-dominio), por ejemplo, la de-convolución, se tienen dos procesos X y N_0 aleatorios de media cero, estacionarios, independientes tal y como se muestra en la figura 20.

En una aplicación típica, X representa una señal de entrada introducida en un filtro H (número 54 en la figura 20), y N_0 representa un ruido adicional añadido a la salida del filtro G . El filtro G Wiener (número 56) está dispuesto para ecualizar el filtro H , es decir, para deshacer el efecto del filtro H en la señal X de entrada en presencia del ruido N (para la mejor aproximación).

Una aplicación típica es la detección de luz codificada con una cámara de obturador rodante. En este caso, la señal digital equivalente que procesa el problema corresponde a la restauración de una señal digital que ha sido filtrada mediante una función de caja temporal. Ver la figura 21. Es decir, la señal X de entrada representa la señal de luz codificada como se captura por la cámara de obturador rodante, y el filtro H representa el efecto de filtrado del proceso de adquisición del obturador rodante. Este filtro H es creado por la exposición de cada línea. Equivale a una función de caja (es decir, una función rectangular) en el dominio de tiempo con una anchura T_{exp} , es decir, una línea está expuesta durante un tiempo T_{exp} , en cuyo tiempo captura la señal (la función de transferencia y el filtro H en el dominio de tiempo están "encendidas" de forma uniforme), y antes y después de que no capture ninguna señal (la función de transferencia de H en el dominio de tiempo es cero). Una función de caja en el dominio de tiempo corresponde a una función de sincronización en el dominio de frecuencia. Un efecto de este filtro puede ser producir una interferencia entre símbolos. Por lo tanto de aquí en adelante, el filtro creado por T_{exp} puede referirse en términos de un efecto no deseado como un "filtro ISI".

(La figura 21 y 22 también muestran como el ruido N_0 puede considerarse como la suma de: (i) un término n_1 de ruido en la entrada del filtro H que pasa a través del filtro H , y (ii) un término n_2 de ruido en una salida del filtro H).

La misión es encontrar un filtro G lineal que proporcione un error medio cuadrático mínimo estimado de X utilizando sólo Y. Para hacer esto el filtro G Wiener es configurado previamente basándose en un conocimiento asumido del filtro H que se va a ecualizar (es decir, sin hacer), así como No. Está configurado de forma analítica de tal manera que, en un conocimiento dado teórico de H y el espectro de X y N), aplicando el filtro G Wiener a Y (donde y es la señal X de entrada más el ruido N) resultará en una señal X^ de salida que minimiza el error medio cuadrático (MSE) con respecto a la señal X de entrada original.

La formulación del filtro Wiener clásico (en el dominio de frecuencia) es:

$$G(f) = \frac{H^*(f)S(f)}{|H(f)|^2S(f) + N(f)}$$

donde S(f) es la densidad espectral de la señal X de entrada y N(f) es la densidad espectral del término No de ruido.

Tal y como se puede apreciar, la formulación del filtro Wiener comprende una representación del filtro que se va a ecualizar, en este caso, en la forma de H* y |H|^2 (=HH*). Tradicionalmente en el filtro Wiener clásico, se asume que H(f), el filtro que se va a ecualizar, y N(f), la densidad espectral de ruido, son exactamente conocidos. En el caso de ecualizar el filtro ISI creado por un proceso de adquisición de obturador rodante, esto implica un conocimiento exacto de Texp. También se asume que las densidades S(f) y No(f) espectrales de los procesos X y N son respectivamente conocidas.

Sin embargo, los filtros Wiener son de hecho muy sensibles a errores en la estimación de H(f). Se han desarrollado algunas técnicas en el pasado para tratar una distorsión desconocida, tales como

- enfoques iterativos (que lleva mucho tiempo), en donde se intenta variar la respuesta objetivo hasta que se alcanza el mejor resultado, o

- enfoques mínimo/máximo, en donde se intenta identificar el peor caso de H(f) y se optimiza el filtro Wiener para esto.

Un problema por lo tanto de utilizar el filtrado Wiener clásico para la realización, está en aplicar esta teoría si la ganancia del filtro tiene que ser grande y el filtro que se va a ecualizar no es conocido de forma muy precisa.

Por ejemplo, para un ancho de banda de la señal en el orden de 1 kHz con Texp en el rango de 1/30 de un segundo, el filtro ISI puede introducir una interferencia entre símbolos (ISI) se verá como se muestra en las figuras 11 y 12.

Con el fin de deshacer esta ISI en el lado del receptor, sería deseable proporcionar un filtro de ecualizador "potente" que sea insensible a imprecisiones en la definición de H(f).

De acuerdo con la presente divulgación, esto se puede lograr computando un "filtro Wiener promedio" fijo, un filtro de tipo Wiener que es robusto bajo variaciones conocidas del filtro H(f) ISI . Este "filtro Wiener robusto" produce una salida más óptima en términos de MSE, dada una distribución estadística de los parámetros relevantes de H(f).

En una aplicación para una luz codificada, esta teoría permite reconstruir una señal de luz codificada donde el Texp de la cámara es sólo conocido de forma aproximada, lo que puede ser, a menudo, el caso.

Los inventores han encontrado una derivación particularmente eficiente de un filtro Wiener robusto óptimo. A continuación, se describe el problema en el dominio de frecuencia (por tanto en términos de H(f), tal y como se introdujo antes). Se ha de notar que en una aplicación para la luz codificada, el filtro Wiener robusto puede ser construido en tiempo real en un algoritmo de decodificación basado en una cámara (teléfono inteligente), como Texp, y por lo tanto H(f) se define o cambia durante la lectura actual de una lámpara.

El filtrado Wiener robusto se basa en la notificación de que H(f) no es conocido exactamente, pero puede ser de hecho dependiente de al menos una cantidad θ desconocida, es decir, un parámetro de H cuyo valor no es conocido y que puede de hecho en cualquier caso dado, encontrarse dentro de unos rangos de valores, por ejemplo, entre dos límites -Δ y +Δ (de forma más general Δ1 y Δ2). Es decir, se asume que el filtro H(f,θ) depende de un parámetro θ aleatorio, independiente de X y N.

Para una función de caja de anchura θ, es decir, una sincronización en el dominio de frecuencia, se puede escribir:

$$H(f;\theta) = \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f}$$

Y en el caso de un filtro ISI creado por la caja, θ es Texp.

El filtro 56' Wiener robusto es entonces creado tomando la representación de Wiener filtro clásica dada más arriba, y donde aparece una representación del filtro que se va a ecualizar, reemplazando con una representación promedio correspondiente que es promediada sobre valores potenciales de un parámetro θ desconocido (, por ejemplo, el promedio entre $-\Delta$ y $+\Delta$ y de forma más general $\Delta 1$ y $\Delta 2$). Es decir, sea donde sea que aparece un término basado en $H(f)$, este se reemplaza con un término promedio equivalente promediado con respecto a θ .

Partiendo de la formulación clásica anterior, esto da:

$$G = \frac{E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

donde E es el promedio con respecto a θ . Ver también la figura 23.

Una derivación de esto se explica ahora en detalle. Se desea encontrar un filtro G lineal fijo que proporcione una estimación del error medio cuadrático mínimo lineal

$$\hat{X}(f) = G(f)Y(f)$$

tal como

$$e(f) = E_{X,N,\theta} \left[(X(f) - \hat{X}(f))^2 \right]$$

es mínimo.

Extendiendo la derivación clásica tomando también el promedio conjunto con respecto a θ , se obtiene:

$$\begin{aligned} e &= E_{X,N,\theta} \left[|X - \hat{X}|^2 \right] \\ &= E_{X,N,\theta} \left[|X - G(HX + N)|^2 \right] \\ &= E_{X,N,\theta} \left[|(1 - GH)X - GN|^2 \right] \\ &= E_{\theta} \left[(1 - GH)(1 - GH)^* \right] \cdot E \left[|X|^2 \right] + GG^* \cdot E \left[|N|^2 \right] \end{aligned}$$

Dado que X, N y θ son independientes y $E[X] = E[N] = 0$

$$\begin{aligned} &= E_{\theta} \left[(1 - GH)(1 - GH)^* \right] \cdot S + GG^* \cdot \mathcal{N}_0 \\ &= \left\{ 1 - G \cdot E_{\theta}[H] - G^* \cdot E_{\theta}[H^*] + GG^* \cdot E_{\theta}[HH^*] \right\} \cdot S + GG^* \cdot \mathcal{N}_0 \end{aligned}$$

El G(f) mejor se encuentra diferenciando e a G y estableciendo el resultado a 0:

$$\frac{\partial}{\partial G} e = \left\{ -E_{\theta}[H] + G^* \cdot E_{\theta}[HH^*] \right\} \cdot S + G^* \cdot \mathcal{N}_0 = 0$$

De donde se obtiene:

$$G = \frac{E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

De una manera similar, se puede comparar una respuesta objetivo de un filtro adaptado (MF):

$$G = \frac{H_{MF} \cdot E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

Para aplicar esto, resta la computación de $E_{\theta}[H^*]$ and $E_{\theta}[HH^*]$. Algunos ejemplos son dados más abajo.

- 5 Un primer enfoque es utilizar una expansión de series de Taylor de H y momentos de θ . En la aplicación de obturador rodante de luz codificada $\theta = \text{Texp}$.

$$E[\theta] = \hat{\theta}$$

$$E[(\theta - \hat{\theta})^2] = \sigma_{\theta}^2$$

$$H'(f; \hat{\theta}) = \left. \frac{\partial}{\partial \theta} H(f, \theta) \right|_{\theta = \hat{\theta}} \quad H''(f; \hat{\theta}) = \left. \frac{\partial^2}{(\partial \theta)^2} H(f, \theta) \right|_{\theta = \hat{\theta}}$$

- 10 Una expansión de series de Taylor da:

$$H(f; \theta) = H(f; \hat{\theta}) + (\theta - \hat{\theta})H'(f; \hat{\theta}) + (\theta - \hat{\theta})^2 \frac{H''(f; \hat{\theta})}{2} + \mathcal{O}(\theta - \hat{\theta})^3$$

$$\begin{aligned} E_{\theta}[H(f; \theta)] &= H(f; \hat{\theta}) + H'(f; \hat{\theta})E_{\theta}[\theta - \hat{\theta}] + \frac{H''(f; \hat{\theta})}{2} E_{\theta}[(\theta - \hat{\theta})^2] + \mathcal{O}(\theta - \hat{\theta})^3 \\ &= H(f; \hat{\theta}) + \frac{H''(f; \hat{\theta})}{2} \sigma_{\theta}^2 + \mathcal{O}(\theta - \hat{\theta})^3 \end{aligned}$$

$$E_{\theta}[H(f; \theta)H^*(f; \theta)] = H(f; \hat{\theta})H^*(f; \hat{\theta}) + (H'(f; \hat{\theta})H''^*(f; \hat{\theta}) + \text{Re}\{H(f; \hat{\theta})H''^*(f; \hat{\theta})\}) \cdot \sigma_{\theta}^2 + \mathcal{O}(\theta - \hat{\theta})^3$$

En la aplicación de obturador rodante:

- 15

$$H(f; \theta) = \frac{\sin(\pi \theta f)}{\pi \theta f}$$

Entonces:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} H(f; \theta) = \frac{1}{\theta} \left\{ \cos(\pi \theta f) - \frac{\sin(\pi \theta f)}{\pi \theta f} \right\}$$

- 20

$$\frac{\partial^2}{(\partial \theta)^2} H(f; \theta) = \frac{2}{\theta^2} \left\{ \frac{\sin(\pi \theta f)}{\pi \theta f} - \cos(\pi \theta f) \right\} - \frac{\pi f}{\theta} \sin(\pi \theta f)$$

Este enfoque funciona mejor para frecuencias bajas dado que $H''(f, \theta)$ salta con la frecuencia creciente.

- 25 Un segundo enfoque es utilizar una computación más exacta asumiendo una distribución de θ conocida. Ejemplo: θ está distribuida uniforme entre $\theta^- - \Delta$ y $\theta^+ + \Delta$, y

$$H(f; \theta) = \frac{\sin(\pi \theta f)}{\pi \theta f}.$$

Entonces:

$$E_{\theta}[H(f; \theta)] = \int_{\hat{\theta}-\Delta}^{\hat{\theta}+\Delta} \frac{\sin(\pi f \theta)}{\pi f \theta} d\theta$$

$$\approx \frac{-1}{\hat{\theta}} \frac{1}{(\pi f)^2} \left\{ \cos \pi f (\hat{\theta} + \Delta) - \cos \pi f (\hat{\theta} - \Delta) \right\} \frac{1}{2\Delta}, \quad \Delta \ll \hat{\theta}.$$

$$E_{\theta}[H(f; \theta)H^*(f; \theta)] = \int_{\hat{\theta}-\Delta}^{\hat{\theta}+\Delta} \frac{\sin^2(\pi f \theta)}{(\pi f \theta)^2} d\theta$$

$$\approx \frac{1}{4\Delta(\pi f \hat{\theta})^2} \cdot \left\{ 2\Delta - \frac{\sin(2\pi f \theta)}{2\pi f} \right\} \Bigg|_{\hat{\theta}-\Delta}^{\hat{\theta}+\Delta}, \quad \Delta \ll \hat{\theta}.$$

5 Aunque lo anterior ha sido descrito en términos de una cierta modificación a la formulación del dominio de frecuencia Wiener clásica, puede haber otras formulaciones de filtro Wiener (, por ejemplo dominio de tiempo o aproximaciones de un filtro Wiener o formulaciones resueltas para un H) particular y el principio de reemplazar un H que se va a conocer, asumido, o una función de, con un H promedio o función de H también se puede aplicar en dichas formulaciones.

10 Se ha de notar también que el filtro Wiener robusto divulgado en el presente documento se puede utilizar para ecualizar otros filtros distintos de un filtro de caja (rectangular, y/o en otras aplicaciones distintas de la recepción de una luz codificada. Otro ejemplo es un filtro de paso de banda que tiene una frecuencia f_0 central que puede que no sea exactamente conocida. En este caso, el filtro que se va a ecualizar es una función de la frecuencia f y la frecuencia f_0 central, $H(f; f_0)$, y el filtro Wiener robusto es determinado a partir de una representación promediada de $H(f; f_0)$ promediada con respecto a f_0 . Por ejemplo:

$$G = \frac{E_{f_0}[H^*] \cdot S}{E_{f_0}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

20 Además, la idea del filtro Wiener robusto también se puede extender a una theta dimensional más alta, es decir, se puede permitir que más de un parámetro sea desconocido. En este caso, la representación del filtro H que se va a ecualizar (por ejemplo H^* y HH^*) es promediada sobre cada una de las cantidades desconocidas. Por ejemplo, los parámetros pueden ser la frecuencia central y/o el ancho de banda de un filtro de paso de banda.

25 Además, el término \mathcal{N}_0 de ruido podría de forma alternativa o de forma adicional representar la densidad espectral de una señal de interferencia. Un término genérico para el ruido y/o interferencia es la "disturbancia".

30 Se apreciará que los modos de realización anteriores han sido descritos sólo a modo de ejemplo. Se pueden entender y efectuar otras variaciones a los modos de realización divulgados por los expertos en la materia llevando a la práctica la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación, y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la palabra "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un/uno/una" no excluye una pluralidad. Un procesador único u otra unidad pueden cumplir las funciones de varios objetos enumerados en las reivindicaciones. El mero hecho de que ciertas medidas son enumeradas en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de esas medidas no se pueda utilizar como una ventaja. Un programa de ordenador se puede almacenar y/o distribuir en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico, o un medio de estado sólido suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también puede distribuirse de otras formas, tal como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicaciones cableados o inalámbricos. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debería considerarse como que limita el alcance.

40

45

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo que comprende:

5 una entrada para recibir una señal desde una cámara (12) de obturador rodante que captura fotogramas de una duración dada a una tasa de fotograma dada exponiendo una pluralidad (21) de líneas(18) de cada fotograma (16) en una secuencia, comprendiendo la señal una señal de luz codificada; un módulo (14) de procesamiento de señal conectado a dicha entrada y dispuesto para tener, a través de dicha entrada, una muestra (19) respectiva de la señal de luz codificada para cada una de un número (24) de dichas líneas (18), estando expuesto dicho número (24) de líneas durante una duración, y siendo dicho número (24) un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que la pluralidad (21) de líneas expuestas por la cámara en cada fotograma;

15 la señal de luz codificada comprende un mensaje que tiene una duración más larga que la duración sobre la cual dicho número de líneas está expuesta, y dicho dispositivo está configurado de tal manera que se reciben múltiples repeticiones del mensaje dentro de una temporización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de la pluralidad de diferentes fotogramas de dichos fotogramas; y

20 el módulo de procesamiento de señal está configurado para alinear en el tiempo las diferentes partes del mensaje desde la pluralidad de fotogramas diferentes, y reensamblar el mensaje a partir de las partes alineadas en el tiempo

2. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el mensaje completo es visto sobre dicha pluralidad de fotogramas.

3. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en donde el mensaje tiene una duración más larga que un fotograma.

25 4. El dispositivo de la reivindicación 1, 2 o 3, en donde el módulo (14) de procesamiento de señal está configurado para realizar dicha alineación en el tiempo basándose en la duración del fotograma y en la duración del mensaje.

30 5. El dispositivo de la reivindicación 4, en donde el módulo (14) de procesamiento de señal está configurado para realizar dicha alineación en el tiempo:

- determinando un periodo de referencia de sincronización que es un múltiplo de número entero de la longitud de dicho mensaje; y

35 - desplazando la parte del mensaje recibida en cada fotograma sucesivo la longitud del fotograma con respecto a su fotograma precedente, pero replegándose hasta el comienzo de dicho periodo de referencia de sincronización más allá del final de dicho periodo de referencia de sincronización.

40 6. El dispositivo de la reivindicación 5, en donde cada fotograma comprende líneas activas y líneas inactivas, y siendo dicha pluralidad de líneas activas, y el módulo (14) de procesamiento de señal está configurado para obtener una muestra (19) respectiva de cada una de la pluralidad de líneas (21) activas de cada fotograma incluyendo dicho número de líneas, por lo tanto produciendo una señal de fotograma que tiene dicha duración de fotograma; y el desplazamiento es realizado extendiendo cada señal de fotograma para tener una duración del periodo de referencia de sincronización.

45 7. El dispositivo de la reivindicación 6, en donde dicha extensión se realiza añadiendo ceros.

8. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el módulo (14) de procesamiento de señal está configurado para descartar uno o más fotogramas omitidos.

50 9. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el módulo (14) de procesamiento de señal está configurado para generar una pluralidad de versiones reensambladas del mensaje cada una basada en un subconjunto respectivo diferente de dichas partes de mensaje, y para realizar una sincronización entre un reloj de dicho dispositivo y un reloj de dicha señal de luz codificada basándose en una correlación entre dichas versiones del mensaje.

55 10. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada una de dichas muestras es tomada combinando valores de píxeles de la línea respectiva.

60 11. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho número de líneas es menor que o igual a un 14% de las líneas de cada fotograma.

12. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada una de dichas partes es menor que o igual a un 3% del mensaje.

65 13. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el número de líneas a partir de las cuales se obtienen dichas muestras incluyen líneas que comprenden uno o más píxeles que están sobreexpuestos.

14. Un receptor (4) que comprende el dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y la cámara (12).

5 15. Un sistema que comprende el receptor (4) de la reivindicación 14, y la fuente (10) de luz; estando posicionada la cámara (12) con respecto a la fuente de luz de tal manera que dichas muestras son obtenidas a partir de un número sustancialmente más pequeño de líneas que las expuestas por la cámara (12) en cada fotograma el mensaje es más largo que dicho número de líneas.

16. Un método que comprende:

10 recibir una señal desde una cámara (12) de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una pluralidad (21) de líneas (18) de cada fotograma en secuencia, comprendiendo la señal una señal de luz codificada; y

15 obtener una muestra (19) respectiva de la señal de luz codificada de cada una de un número (24) de dichas líneas (18), estando expuesto dicho número (24) de líneas durante una duración, y siendo dicho número (24) de líneas un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que la pluralidad (21) de líneas expuestas por la cámara (12) en cada fotograma;

20 en donde la señal de luz codificada comprende un mensaje que tiene una duración más larga que la duración sobre la cual dicho número de líneas es expuesta, y el mensaje se repite múltiples veces con una temporización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de una pluralidad de fotogramas diferentes de dichos fotogramas; y

25 en donde el método además comprende alinear en el tiempo las diferentes partes del mensaje a partir de la pluralidad de fotogramas diferentes, y reensamblar el mensaje a partir de las partes alineadas en el tiempo.

17. Un producto de programa de ordenador implementado en un medio legible por ordenador y configurado de manera que cuando se ejecuta realiza las operaciones de:

30 recibir una señal desde una cámara (12) de obturador rodante que captura fotogramas exponiendo una pluralidad de líneas (18) de cada fotograma en secuencia, comprendiendo la señal una señal de luz codificada; y

35 obtener una muestra (19) respectiva de la señal de luz codificada de cada una de un número (24) de dichas líneas (18), estando expuesto dicho número (24) de líneas durante una duración, y siendo dicho número (24) de líneas un número sustancialmente más pequeño de dichas líneas que la pluralidad (21) de líneas expuestas por la cámara (12) en cada fotograma;

40 en donde la señal de luz codificada comprende un mensaje que tiene una duración más larga que la duración sobre la cual dicho número de líneas es expuesta, y el mensaje se repite múltiples veces con una temporización tal que una parte diferente del mensaje es vista por la cámara en cada una de una pluralidad de fotogramas diferentes de dichos fotogramas; y

en donde el método además comprende alinear en el tiempo las diferentes partes del mensaje a partir de la pluralidad de fotogramas diferentes, y reensamblar el mensaje a partir de las partes alineadas en el tiempo.

Figura 1

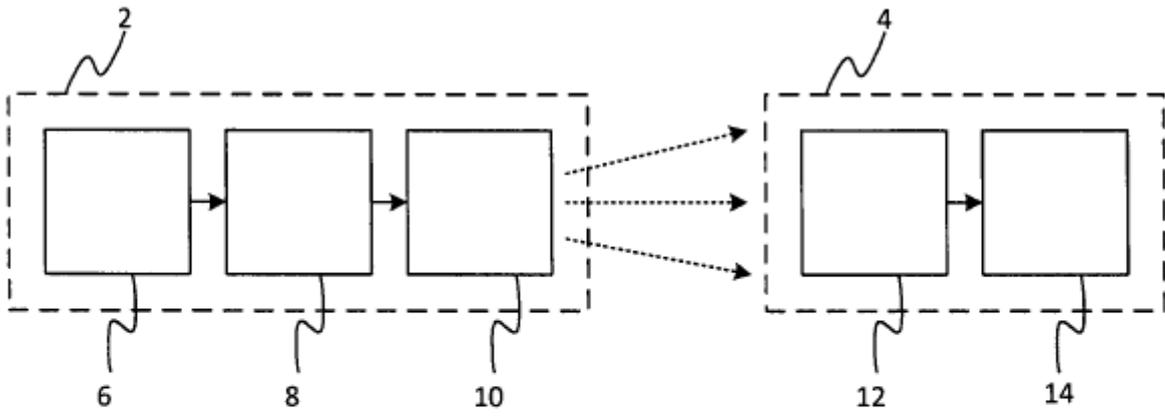


Figura 2

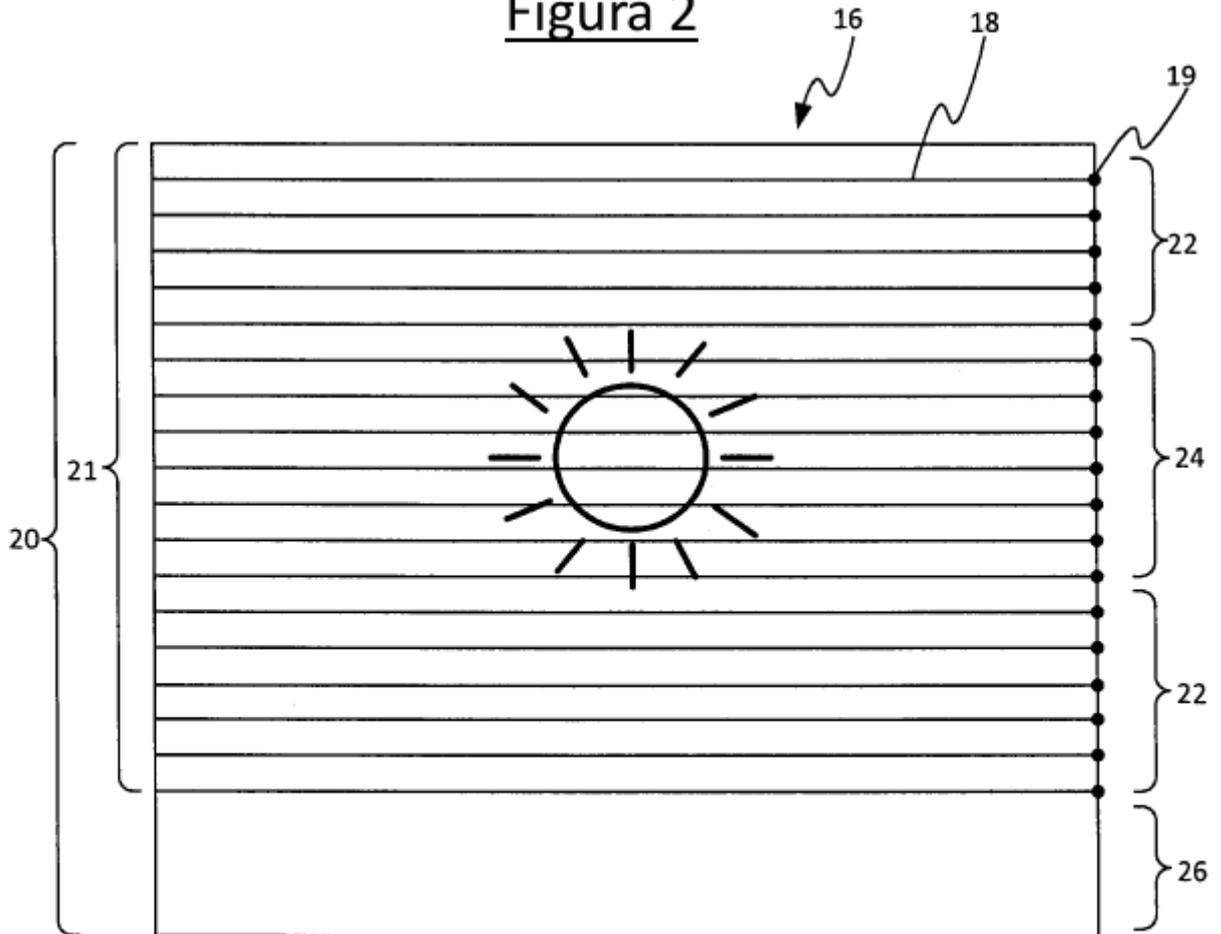


Figura 3

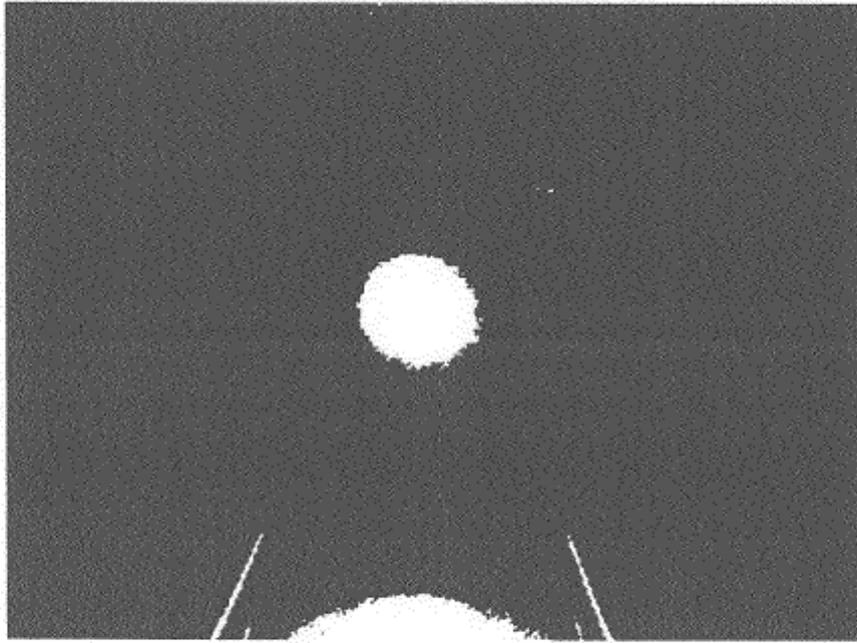


Figura 4

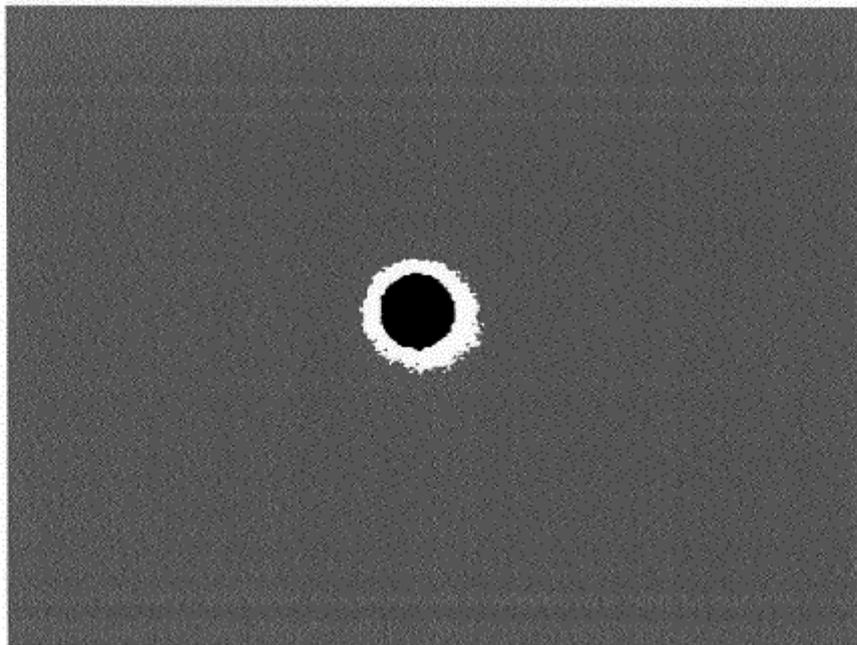


Figura 5

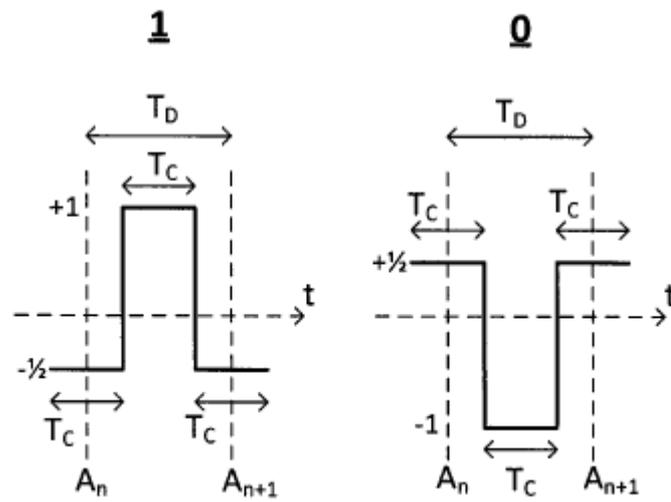


Figura 6

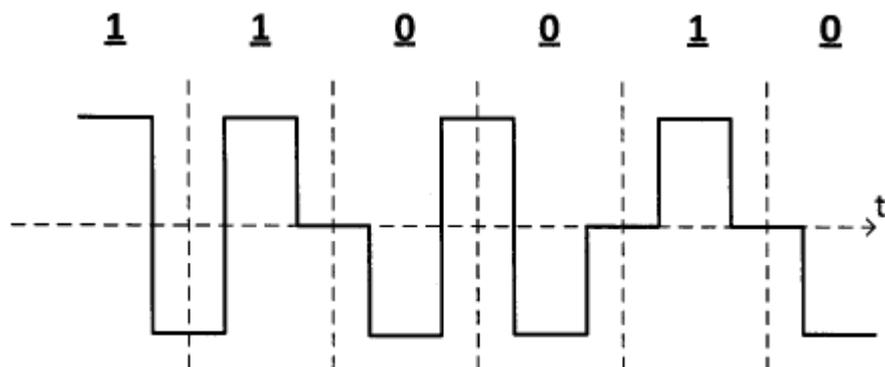


Figura 7

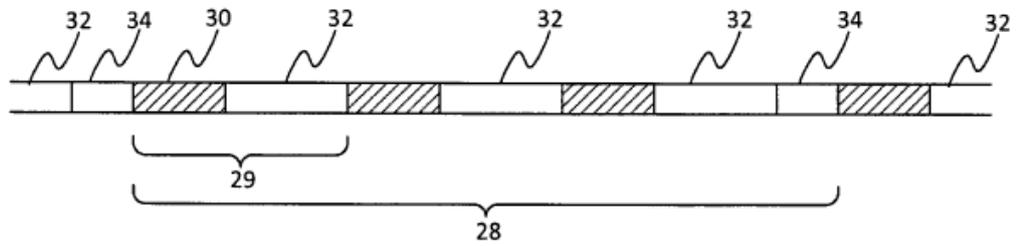


Figura 8

Numero teórico de fotogramas requeridos para reconstruccion de mensaje; tasa de fotograma=29,97

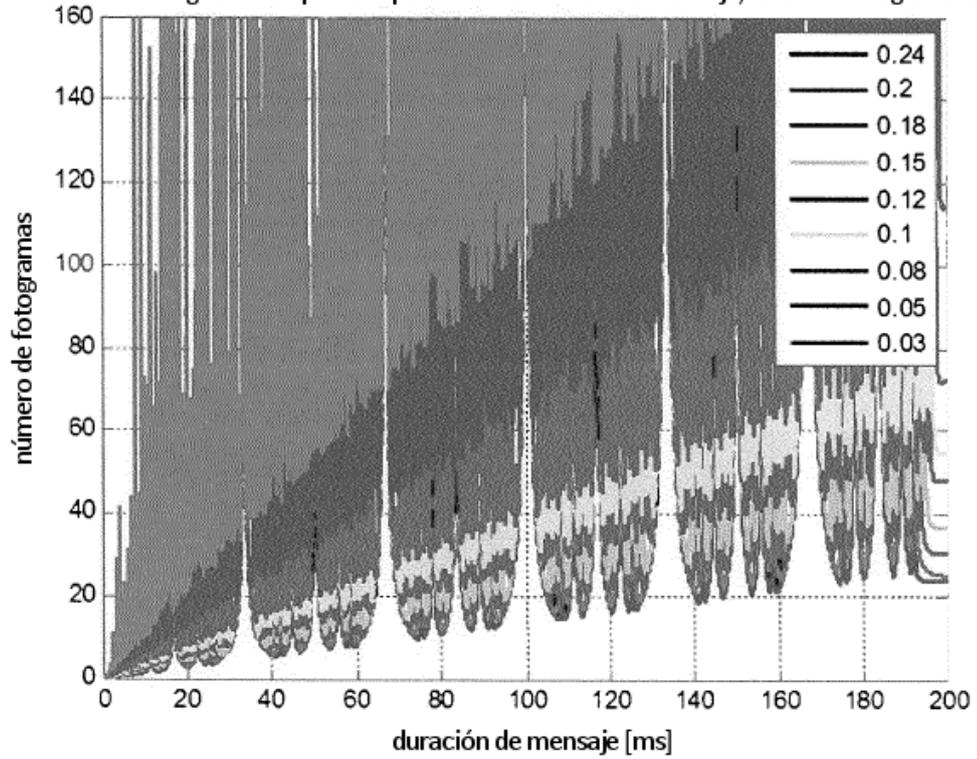


Figura 9

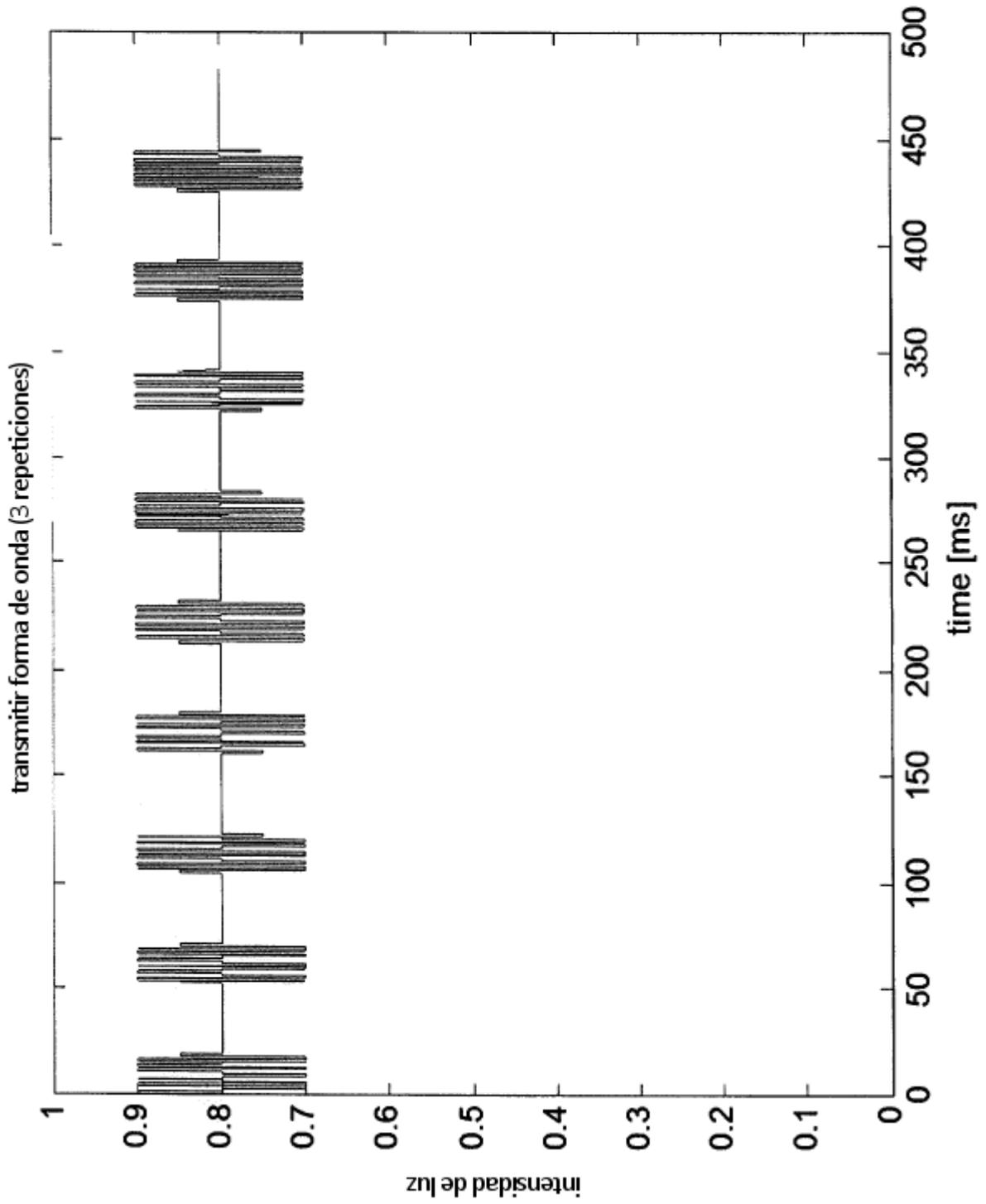


Figura 10

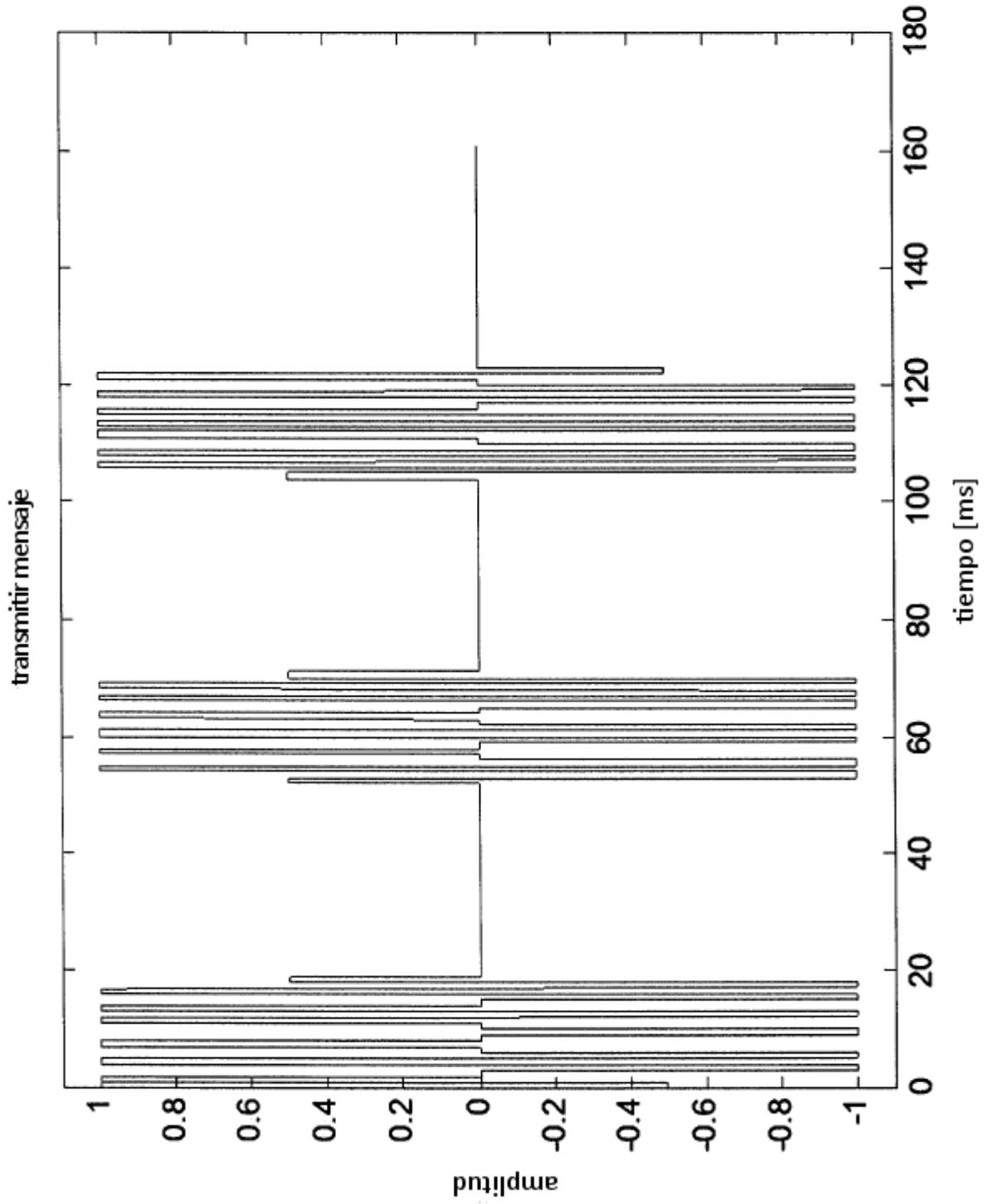


Figura 11

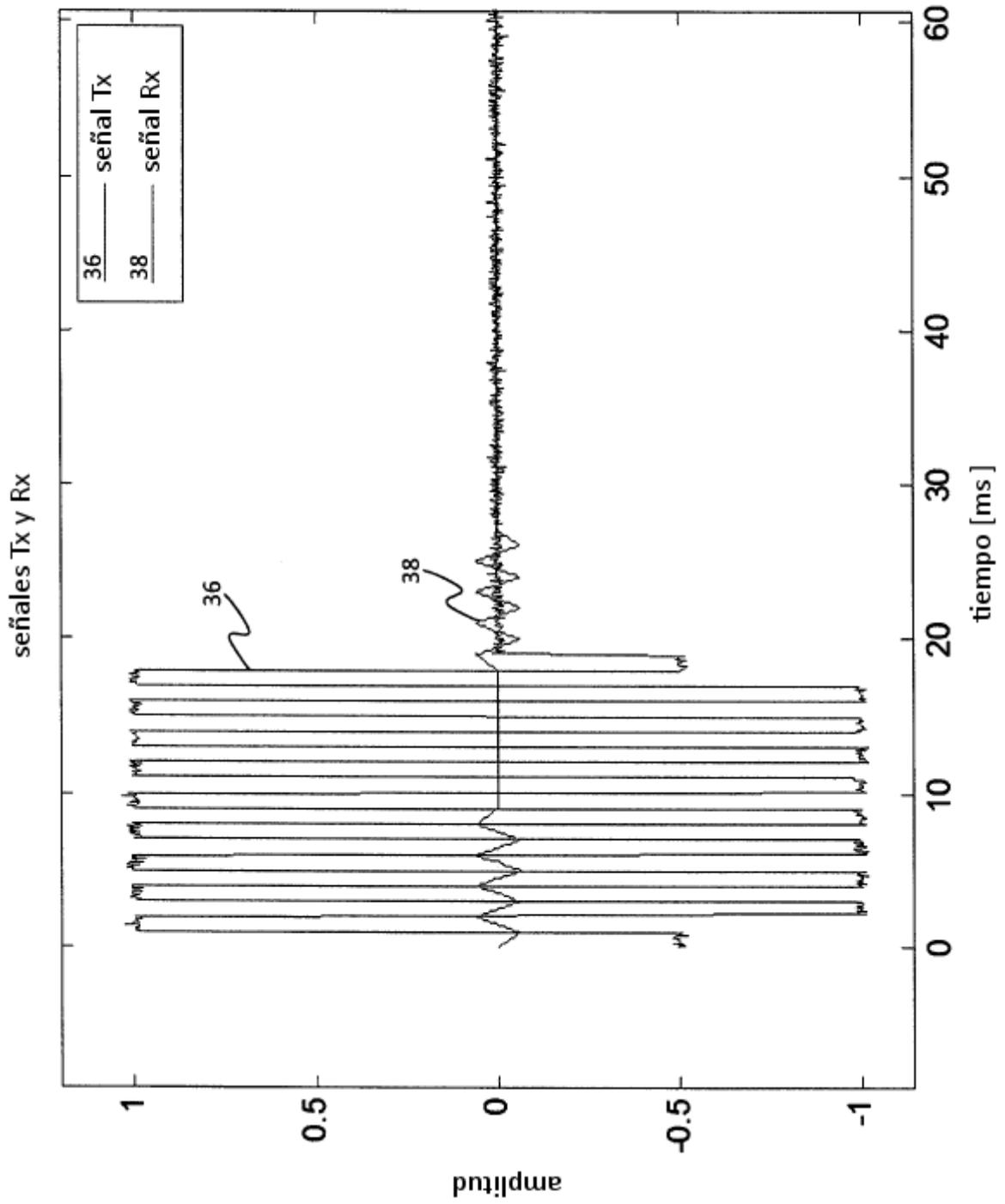


Figura 12

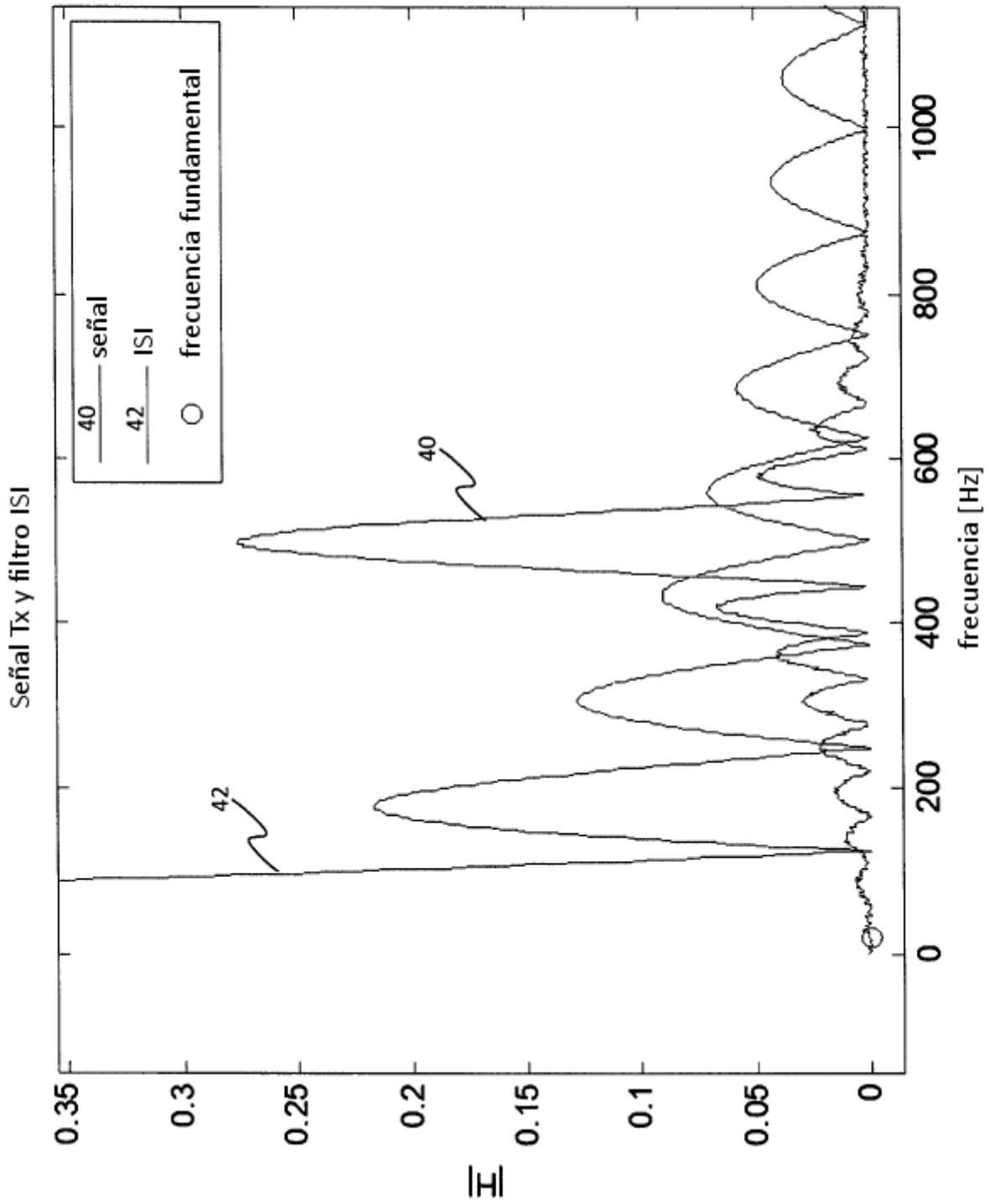


Figura 13

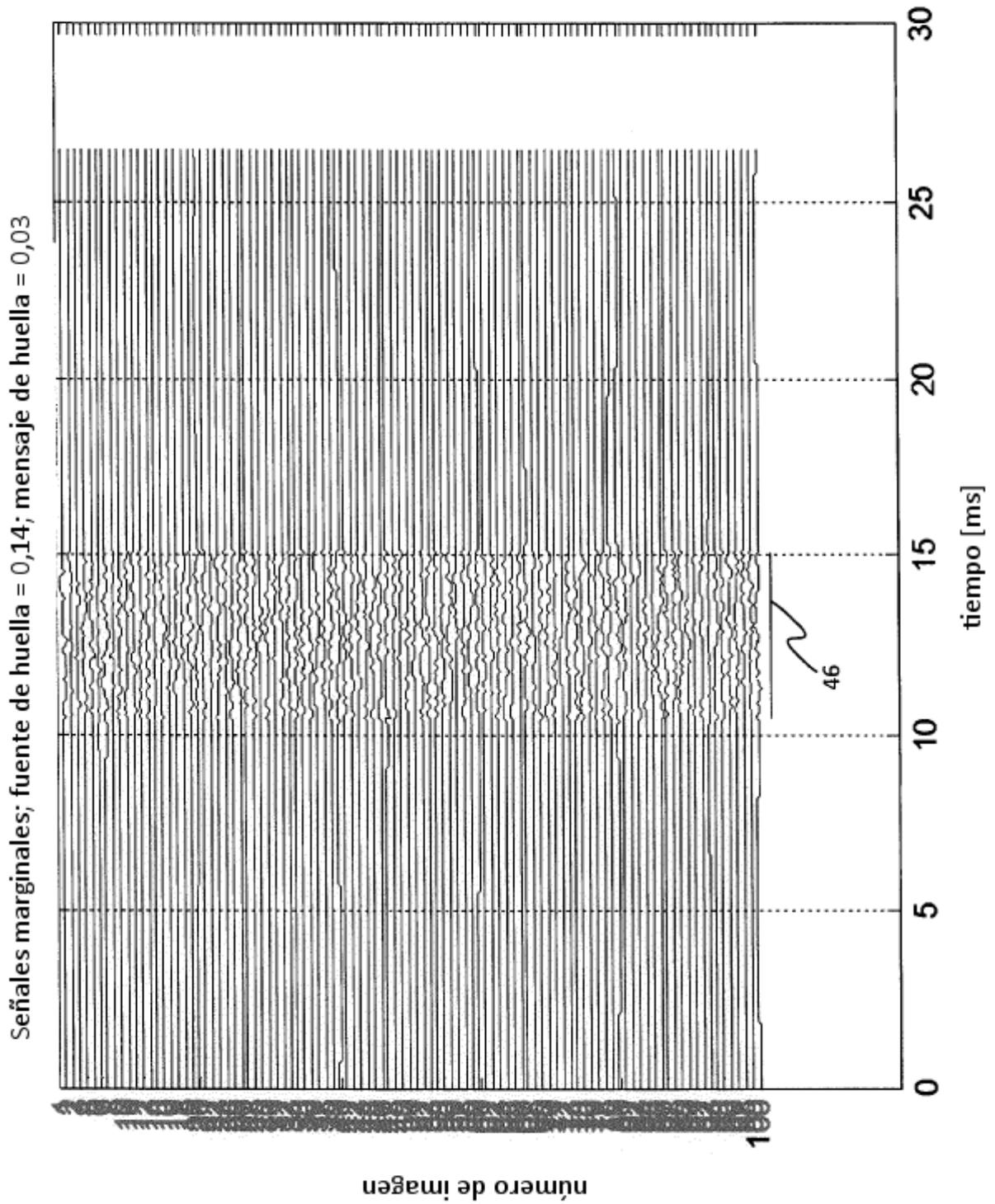


Figura 14

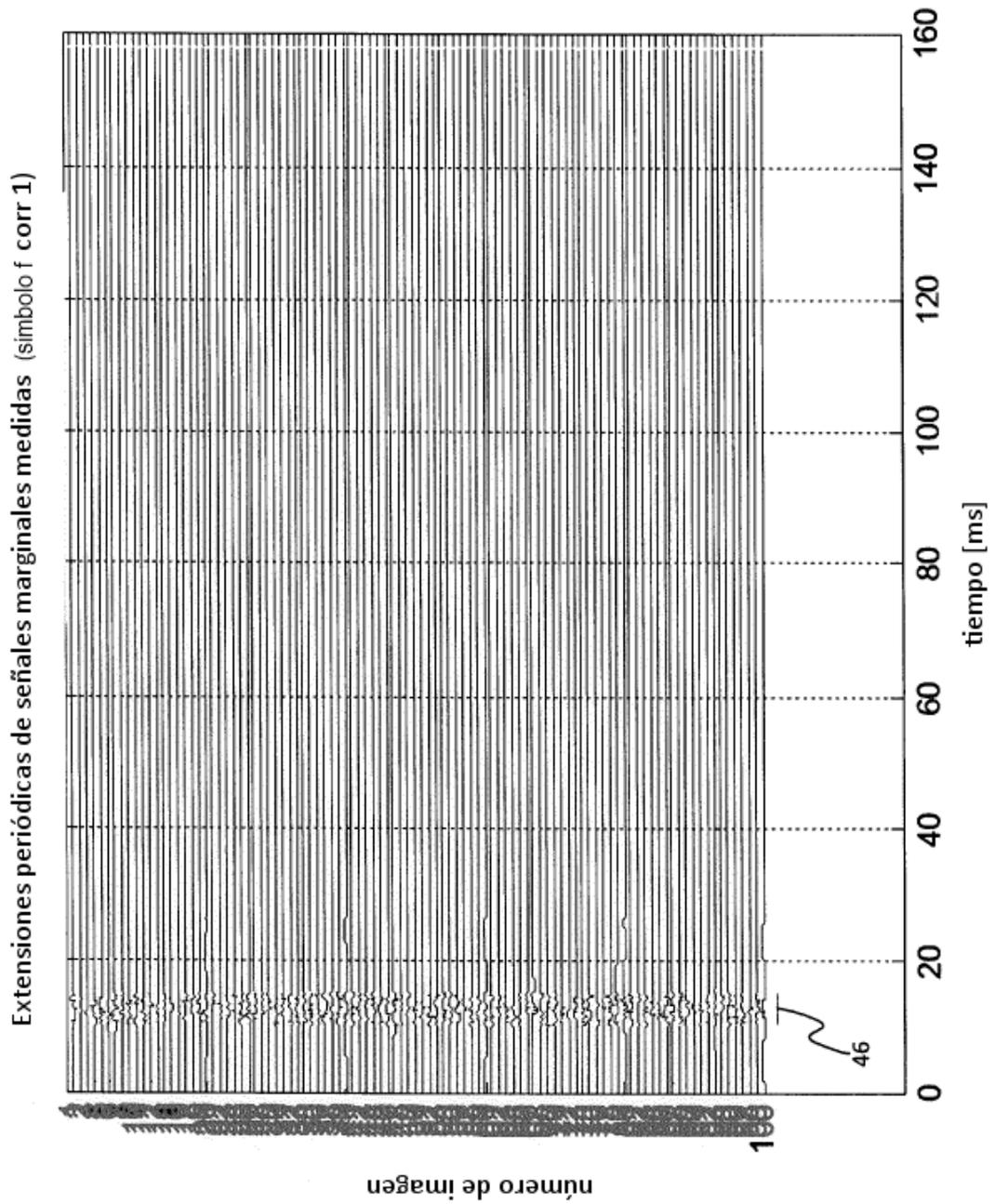


Figura 15

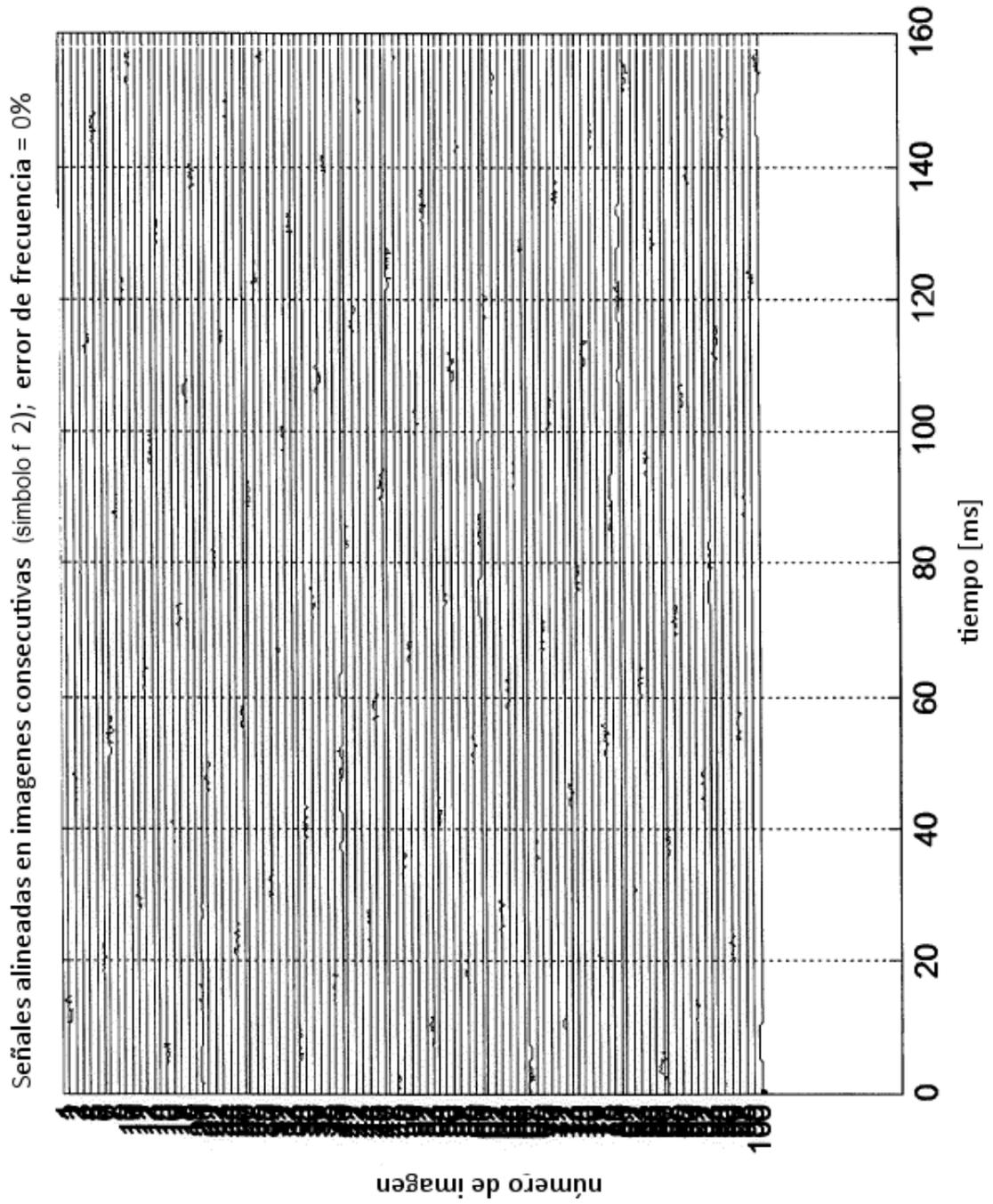


Figura 16

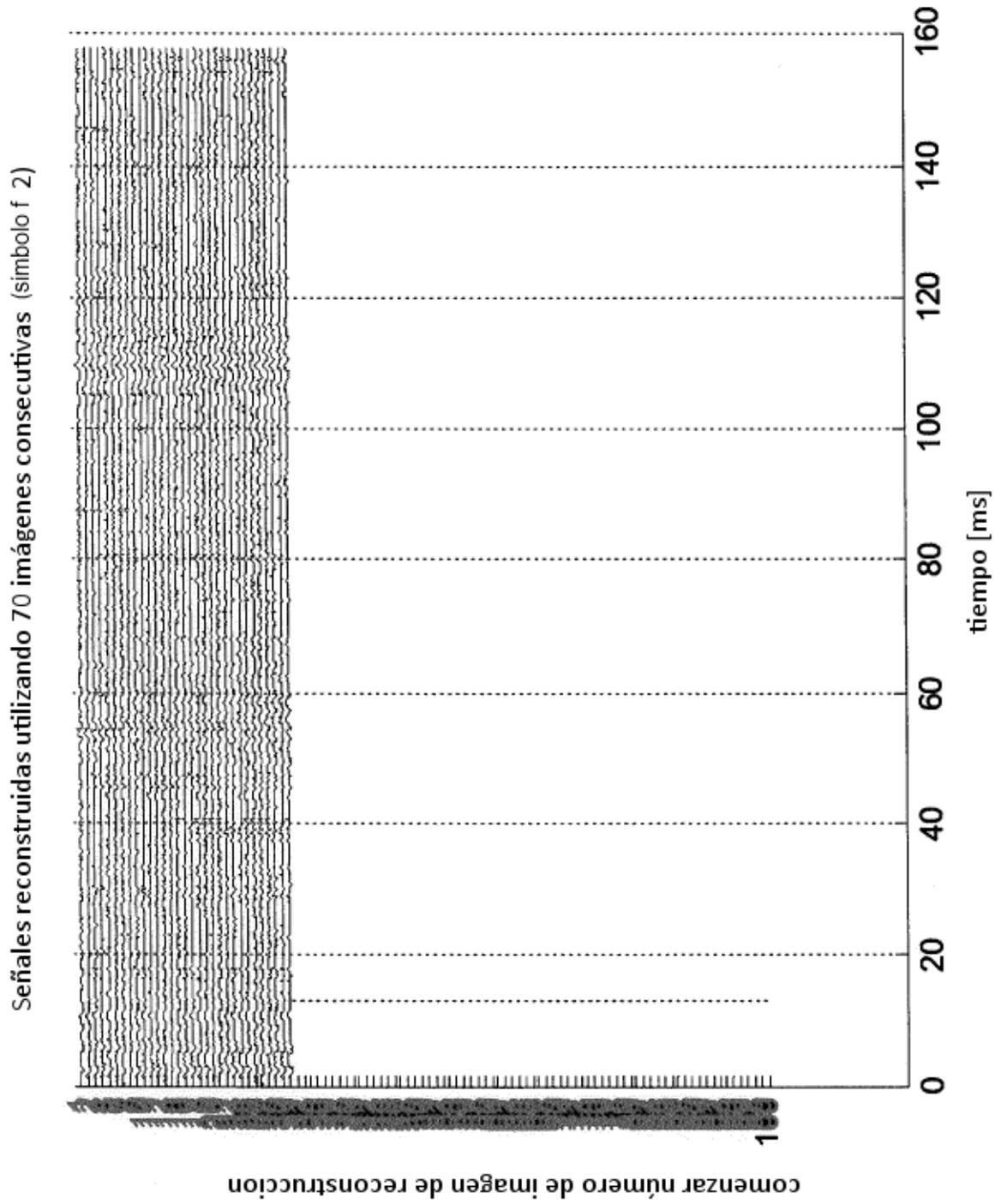


Figura 17

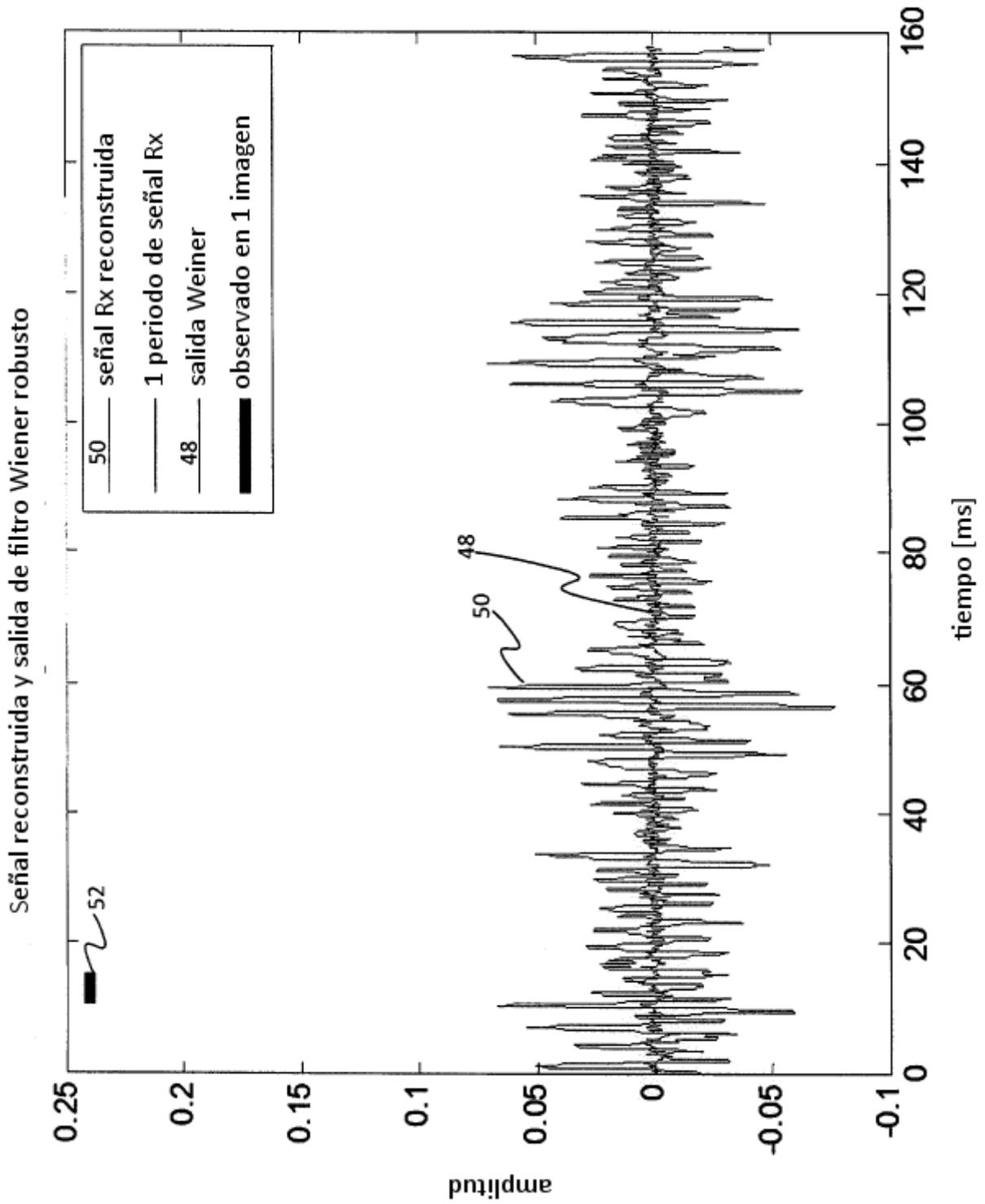


Figura 18

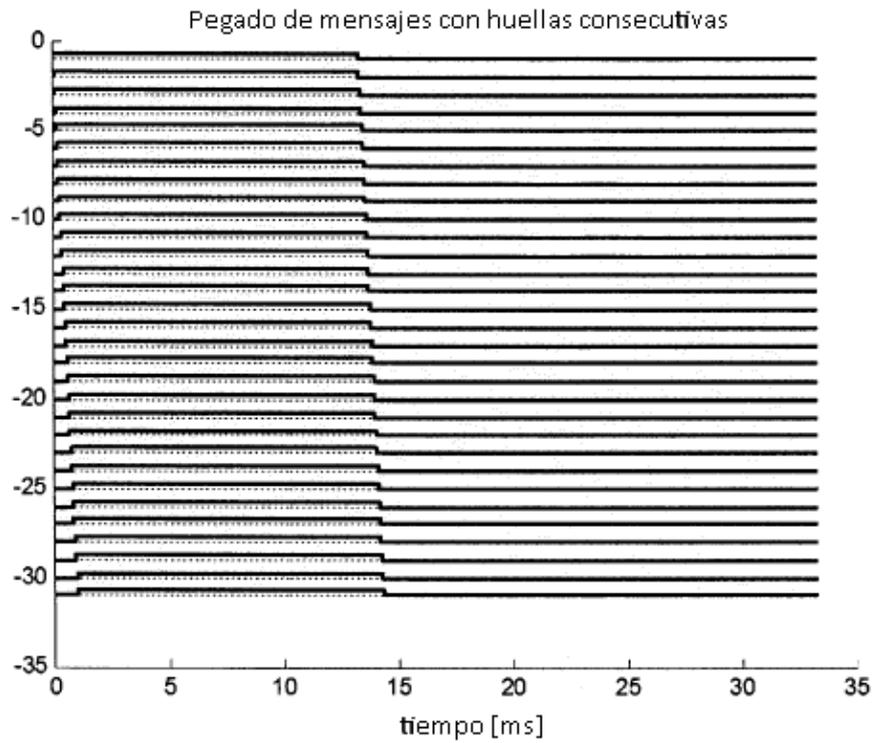


Figura 19

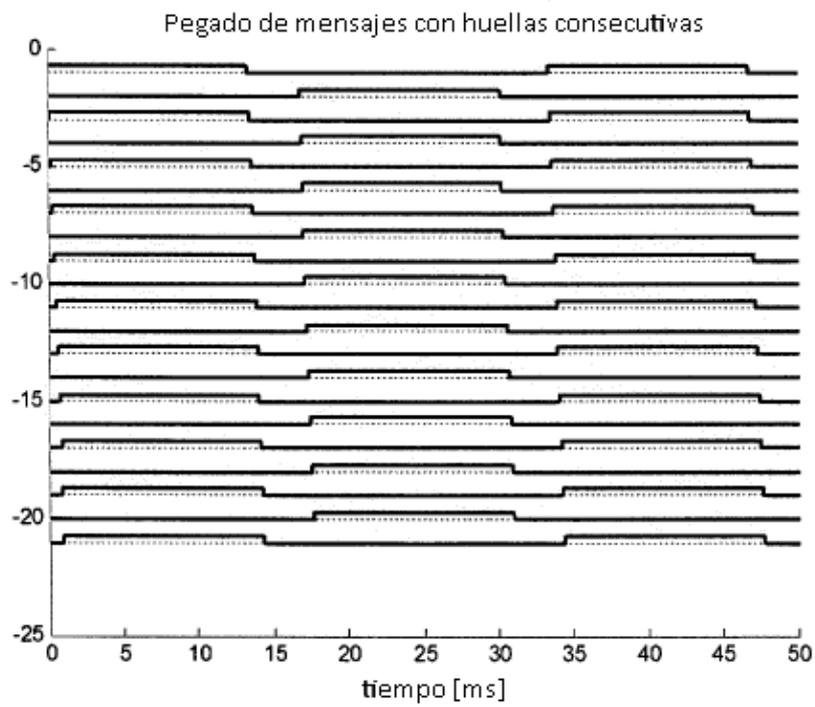


Figura 20

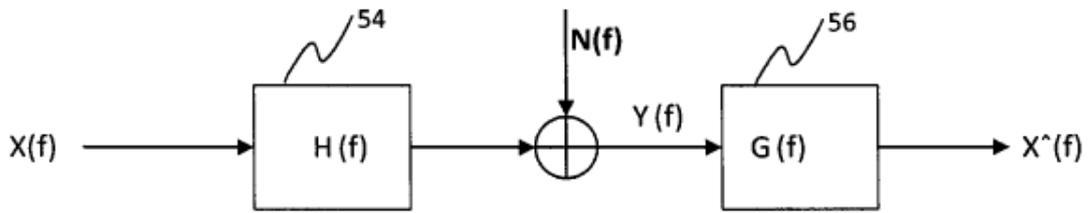


Figura 21

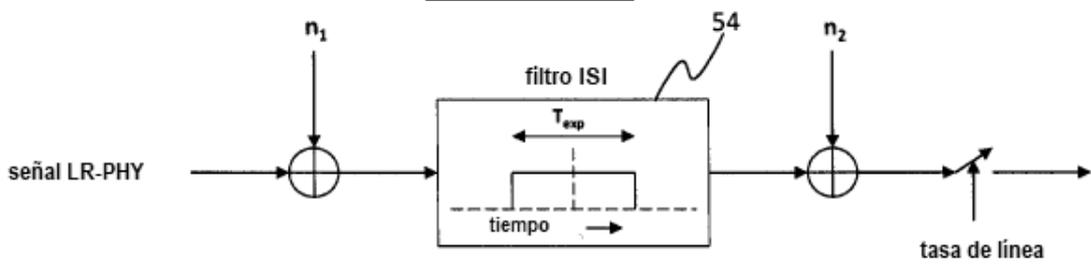


Figura 22

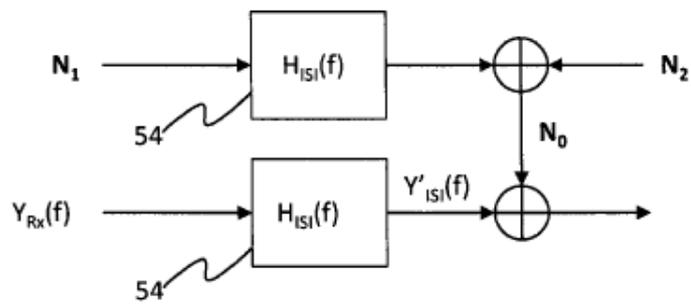


Figura 23

