

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
24 de Agosto de 2006 (24.08.2006)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2006/087407 A2

(51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/ES2006/000074

(22) Fecha de presentación internacional:

20 de Febrero de 2006 (20.02.2006)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

P200500415 21 de Febrero de 2005 (21.02.2005) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
[ES/ES]; C/Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): PRAT

GOMÀ, Josep [ES/ES]; C/Jordi Girona, 31, E-08034
Barcelona (ES). **POGGIOLINI, Pierluigi** [—/IT];
Politecnico di Torino, Corso Duca Abruzzi 24, I-10129
Torino (IT).

(74) Representante común: **UNIVERSITAT POLITÈC-**

NICA DE CATALUNYA; C/Gran Capità, 2-4, E-08034
Barcelona (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección nacional admisible): AE,
AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección regional admisible): ARIPO
(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— sin informe de búsqueda internacional, será publicada nue-
vamente cuando se reciba dicho informe

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección
"Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al
principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

(54) Title: RECEIVER FOR OPTICAL COMMUNICATIONS, COMPRISING A NONLINEAR EQUALISER

(54) Título: RECEPTOR PARA COMUNICACIONES ÓPTICAS CON ECUALIZADOR NO LINEAL

(57) **Abstract:** The invention relates to a receiver for optical communications, comprising a nonlinear equaliser. The invention comprises a first input element for an optical fibre (2) through which an information-carrying signal (S1) passes, an optical detector block (3), a nonlinear equaliser block (4) and an end processor block (5). The invention is characterised in that it comprises an electrical nonlinear equaliser block (4) which is connected between the output of the optical detector block (3) and the input of the end processor block (5) and which compensates the quadratic nonlinear characteristic of the optical detector (3). In this way, the optical detector block (3) and the nonlinear equaliser block (4) together have a combined linear characteristic between the electric field envelope of the information-carrying optical signal (S1) in the optical fibre (2) and the electrical signal (S3). As a result, the end processor block (5) can more effectively compensate the linear distortions experienced by the optical signal during transmission through the optical fibre. In this way, the invention comprises an optical receiver (1) with nonlinear compensation of the photodetection process and linear compensation of the linear distortions that occur in transmission through the fibre.

(57) **Resumen:** Comprende un primer elemento de entrada de una fibra óptica (2) por la que circula una señal portadora de información (S1) y un bloque (3) detector óptico, un bloque (4) ecualizador no lineal y un bloque (5) procesador final. Se caracteriza por el hecho de que comprende un bloque ecualizador no lineal eléctrico (4), conectado entre la salida del bloque detector óptico (3) y la entrada del bloque procesador final (5), que compensa la característica no lineal cuadrática del detector óptico (3). Se consigue de este modo que el conjunto de los dos bloques (3 y 4) presenten una característica conjunta lineal entre la envolvente de campo eléctrico de la señal óptica portadora de información (S1) en la fibra óptica (2) y la señal eléctrica (S3), y que, de este modo, el bloque procesador final (5) pueda compensar, de forma más efectiva, las distorsiones lineales que sufre la señal óptica en la transmisión por la fibra óptica. Se consigue un receptor óptico (1) con compensación no lineal del proceso de foto-detección y con compensación lineal de las distorsiones lineales de la transmisión por la fibra.

WO 2006/087407 A2

Receptor para comunicaciones ópticas con ecualizador no lineal

La presente invención se refiere a un receptor para comunicaciones ópticas que comprende un primer elemento de entrada de una fibra óptica a través de la cual circula una señal portadora de información, un bloque de detección óptica, un bloque eléctrico ecualizador no lineal, y un bloque procesador final.

Antecedentes de la invención

10

Debido a los progresos conseguidos en los campos referentes a los rayos láser y a la fibra óptica, es posible la realización de sistemas de comunicaciones mediante fibras ópticas como canal de transmisión, que dependen fundamentalmente de las características de la luz.

15

Un sistema de comunicaciones por fibra óptica, en su estructura más básica, está formado por un bloque de emisión, llamado emisor o transmisor óptico, que tiene la función de transformar la información en forma de señal eléctrica en información en forma de luz; un canal de transmisión de dicha luz, que es la fibra óptica; y un bloque de recepción, que tiene la función de transformar la información óptica recibida en información en forma de señal eléctrica, que recibe el nombre de receptor óptico. Es importante destacar que el emisor contiene la fuente de luz, que puede ser, por ejemplo, un diodo láser o un diodo emisor de luz (LED), mientras que el receptor óptico contiene un detector óptico, que puede ser, por ejemplo, un fotodiodo (PIN o APD) o un fototransistor. Dicho emisor y receptor ópticos comprenden conectores que les permiten acoplarse a la fibra óptica.

Son conocidos en el campo de los receptores ópticos los receptores ópticos de detección directa, que son los habituales, y los receptores ópticos de detección homodina o heterodina.

La arquitectura de los receptores ópticos de detección directa se

basa principalmente en un fotodetector y unos circuitos de amplificación y de procesado de la señal. Así pues, el receptor convierte una señal óptica en una señal eléctrica cuya corriente y tensión son proporcionales a la potencia óptica incidente, que es posteriormente procesada.

5 La transmisión o propagación de la señal óptica a lo largo del canal de fibra óptica, entre el transmisor óptico y el receptor, puede presentar problemas de distorsiones lineales y no lineales, así como ruidos e interferencias. Entre las distorsiones lineales está la dispersión cromática, que degrada la señal detectada debido a que unas longitudes de onda viajan
10 más rápidamente que otras, ensanchando los pulsos digitales y, por tanto, corrompiendo la comunicación cuando la longitud del enlace de fibra y la anchura de banda superan los límites de calidad de detección requeridos, tal como se describe por ejemplo en "Fiber Optic Communication Systems" de Govind P. Agrawal, de la Editorial John Wiley & Sons.

15 Se han desarrollado diversos métodos de compensación y minimización de los efectos negativos de dichas distorsiones lineales, tanto mediante compensadores o ecualizadores ópticos, como, últimamente, compensadores o ecualizadores eléctricos u electrónicos en el sistema receptor óptico. Los eléctricos presentan normalmente, hasta el momento,
20 menor poder de compensación pero tienen las ventajas de poder ser adaptativos, es decir, pueden reconfigurarse para adaptarse a distintos enlaces automáticamente o semi-automáticamente, y de poder ser menos costosos, gracias a las tecnologías de procesamiento digital de la señal, que ya puede operar a las altas velocidades de transmisión de las comunicaciones
25 ópticas. Estos métodos se explican de forma actualizada en el amplio artículo "OFC 2004 workshop on optical and electronic mitigation of impairments", de Nielsen, T.; y Chandrasekhar, S.; en el Journal of Lightwave Technology, volumen 23, número 1, Enero 2005, páginas 131 a 142. Alguno de éstos métodos de ecualización ha sido patentado, como el
30 "Optical transmission method and optical transmission device", referencia WO2004068747. En esta invención se compensan las distorsiones lineales del

enlace óptico mediante un transformador óptico de Fourier.

El poder de compensación de las distorsiones lineales de los ecualizadores eléctricos está limitado normalmente por la característica no lineal del foto-detector del receptor óptico, anteriormente comentada, y como se explica en "Electronic equalization for advanced Modulation formats in dispersion-limited systems" de Curri, V.; Gaudino, R.; Napoli, A.; y Poggiolini, P.; publicado en el IEEE Photonics Technology Letters, volumen 16, número 11, Noviembre 2004, páginas 2556 a 2558.

10 Descripción de la invención

El objeto de la presente invención es solucionar al menos en parte la limitación citada anteriormente, haciendo que el ecualizador eléctrico pueda compensar de forma mucho más eficiente los efectos negativos de la distorsión lineal en la transmisión óptica por la fibra.

El receptor para comunicaciones ópticas objeto de la presente invención se caracteriza por el hecho de que comprende un bloque ecualizador eléctrico no lineal, entre el detector óptico y el procesador final, que compensa la característica no lineal entre la envolvente del campo electro-magnético de S1 y la corriente eléctrica de S2 producida por el foto-detector (3). Dicha característica es cuadrática (envolvente del campo al cuadrado), ya que es a la vez lineal con la potencia óptica, la cual es proporcional a la envolvente del campo elevado al cuadrado (debido al fenómeno cuántico de conversión fotón por electrón que se produce en el fotodetector óptico).

En esta invención se propone la inclusión del bloque ecualizador electrónico no lineal con una característica inversa a la del fotodetector, por tanto que responda como una función raíz cuadrada. Matemáticamente podemos definir el bloque como el que hace que la relación entre sus señales de entrada y de salida: $S3 = k S2^{(1/2)}$, siendo k una constante. Siendo ésta la relación teóricamente ideal, la implementación práctica del bloque con un

circuito eléctrico o electrónico no es normalmente ideal o exacta, sino intenta aproximar esta función con suficiente precisión. Es un bloque sin memoria, que no realiza funciones de filtro.

La inclusión de este bloque ecualizador no lineal en el receptor 5 óptico a la salida del bloque fotodetector es la característica que permite aprovechar plenamente las ventajas del sistema de ecualización electrónica de las distorsiones lineales de la transmisión, la cual se realiza en el bloque procesador final (5) y que utiliza los algoritmos de procesamiento de la señal, tanto analógico como digital. Entre ellos están los filtros transversales 10 lineales, la ecualización "feed-forward", la ecualización "decision-feedback", los "maximum likelihood sequence estimators" o combinaciones entre ellos. Se componen comúnmente de varias etapas similares con retardos y con multiplicadores por coeficientes o pesos configurables.

Estos algoritmos permiten teóricamente compensar cualquier 15 distorsión lineal y, por tanto, eliminar sus efectos negativos. La característica no lineal característica del fotodetector convierte una distorsión lineal en no lineal. La presente invención trata de solucionar esto último.

La investigación realizada del sistema receptor óptico objeto de la 20 presente invención corrobora esta ventaja. Con la misma se obtiene un aumento de la longitud máxima permitida del enlace de fibra óptica en un factor superior a dos (fácilmente se duplica e incluso triplica), respecto a la no utilización del ecualizador no lineal (4), para una misma calidad final de la comunicación de información desde la entrada del transmisor óptico y la 25 salida del receptor óptico. La inclusión de este bloque (4) en el receptor opto-eléctrico constituye la principal novedad de la presente invención.

El bloque procesador eléctrico final (5) realiza un procesamiento, que puede ser muy diverso, con la función de optimizar la calidad de la señal a la salida del receptor adaptándose a las características del canal de transmisión 30 y compensando sus perturbaciones o inconvenientes en lo posible. Incorpora, al contrario que el bloque (4), elementos de filtrado o memoria eléctrica ya

sea analógica o digital. Este bloque puede ser muy diverso dependiendo de la aplicación y la complejidad, tal como se referencia en la literatura. Habitualmente este bloque es de tipo lineal, pero también existen versiones más sofisticadas que no son lineales y que demuestran un buen
5 comportamiento en el sistema. Dicho bloque procesador final (5) no constituye el elemento esencial de novedad de la invención, y puede ser cualquiera de los tipos de ecualizadores, filtros o decisores adaptativos que existen en la literatura. Los más comunes son del tipo analógico, del tipo "Feed-forward equalizer" (FFE), del tipo "Decision-Feedback Equalizer"
10 (DFE) o del tipo "Maximum Likelihood Sequence Estimation" (MLSE). Pueden ser procesadores lineales o no lineales, analógicos o digitales, incluyendo decodificadores "hardware" o "software", iterativos o no, como con códigos "Reed-Salomon", convolucionales, turbo o de control de paridad de baja densidad (LDPC), con técnicas de estimación de secuencias de máxima
15 similitud, secuencial o iterativas con algoritmos de Viterbi o BCJR, y realizando o no funciones de decisión, posiblemente con un umbral adaptativo. También puede constar de combinaciones entre ellos, y puede incluir un filtro analógico paso-bajo fijo.

Ventajosamente, el sistema receptor óptico comprende también
20 un elemento de decisión o regenerador, el cual es necesario para extraer la información contenida en la señal (S4) obtenida en la salida del bloque procesador (5), y convertirla a un formato digital de datos, habitualmente binario. Este elemento está habitualmente incluido en el bloque (5).

Ventajosamente, el receptor óptico puede utilizar también
25 elementos amplificadores entre los bloques individuales indicados, y a su entrada y salida, para aumentar el nivel de señal, que ha sido atenuado durante la propagación por la fibra óptica. También puede utilizar conectores, cables y demás elementos de interconexión o adaptación de las señales ópticas o eléctricas.

30 Alternativamente, el canal de comunicación puede ser, en lugar de la fibra óptica, el propio aire o el vacío, de las llamadas "Free Space

Optics”.

Breve descripción de los dibujos

5 Para mayor comprensión de cuanto se ha expuesto se acompaña un dibujo, en el cual:

 la figura 1 es un diagrama de bloques del receptor para comunicaciones ópticas de acuerdo con una realización de la invención;

10 Descripción de realizaciones preferidas

 Como se puede ver en la figura 1, el receptor para comunicaciones ópticas 1 comprende principalmente un primer elemento de entrada de una fibra óptica 2 por la que circula una señal portadora de información S1, un
15 bloque 3 detector óptico, un bloque 4 ecualizador no lineal y un bloque 5 procesador final.

 Así, la señal óptica portadora de información S1 que circula por la fibra óptica 2 proveniente del transmisor óptico remoto (no mostrado), es introducida en el bloque detector óptico o fotodetector 3, que a su vez
20 genera una señal eléctrica S2 que se introduce en el bloque ecualizador no lineal 4. Este último genera, a partir de S2, la señal S3, la cual es posteriormente ecualizada y filtrada linealmente por el bloque procesador final 5, que genera la señal de salida S4.

 El objeto principal de esta invención es la inclusión del bloque
25 ecualizador no lineal 4, que produce una señal a su salida S3 proporcional a la raíz cuadrada de su señal de entrada S2.

 La realización de este bloque puede ser diversa, siendo lo fundamental la relación entrada-salida no lineal descrita que debe aproximar.

30 Una realización preferida se basa en un circuito electrónico que utilice un dispositivo semiconductor no lineal (o varios). No es necesario que

la función no lineal se implemente totalmente, sino que es suficiente que se aproxime en el margen de variación de la señal de entrada S2.

El dispositivo semiconductor no lineal puede tratarse, preferiblemente, de un transistor de efecto campo (tipo FET, JFET, MOSFET, 5 MESFET o HEMT) que presentan una relación de tipo cuadrático entre la tensión de entrada (entre puerta y surtidor, habitualmente) y la corriente de salida (en drenador y surtidor, habitualmente). Sin embargo, si se invierte su funcionamiento, o sea, el transistor se realimenta y se excita en corriente, con una fuente de corriente controlada por S2, y se mide la tensión 10 producida S3, se puede obtener la función no lineal raíz cuadrada deseada.

Otra posible implementación preferida se basa en un diodo semiconductor. Si se excita en corriente, con una fuente de corriente, y se mide la tensión en bornes, se obtiene una relación entrada-salida de tipo 15 logarítmico, que puede aproximarse a la función raíz cuadrada en un margen útil, eligiendo apropiadamente las resistencias de adaptación y la corriente de polarización.

Otras posibles implementaciones pueden ser digitales, con una operación o una tabla de datos, o realizar una aproximación de la función por tramos o combinando diversas funciones lineales y no lineales para 20 aproximar la función ideal. También pueden utilizarse para ello otros dispositivos semiconductores como el transistor bipolar (BJT) u otros.

REIVINDICACIONES

1. Receptor (1) para comunicaciones ópticas que comprende un
5 primer elemento de entrada de una fibra óptica (2) a través de la cual
circula una señal portadora de información (S1), un bloque receptor óptico
(1), **caracterizado** por el hecho de que comprende un bloque ecualizador no
lineal (4), conectado entre la salida del bloque detector óptico (3) y la
entrada del bloque procesador final (5), que compensa la característica no
10 lineal cuadrática del detector óptico (3), consiguiéndose de este modo que el
conjunto de los dos bloques (3 y 4) presenten una característica lineal entre
la envolvente de campo eléctrico de la señal óptica portadora de
información (S1) en la fibra óptica (2) y la señal eléctrica (S3), y que, de este
modo, el bloque procesador final (5) puede compensar, de forma más
15 efectiva, las distorsiones lineales que sufre la señal óptica en la transmisión
por la fibra óptica.

2. Receptor (1) según reivindicación 1, caracterizado por el hecho
que comprende, al menos, un amplificador al lado del receptor, o entre sus
bloques constitutivos (3, 4, 5), para aumentar el nivel de la señal, que se ha
20 atenuado en la transmisión por la fibra óptica.

3. Receptor (1) según reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por el
hecho de que los amplificadores pueden ser tanto eléctricos como ópticos.

4. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2,
caracterizado por el hecho de que el bloque ecualizador no lineal (4)
25 presenta una relación entrada-salida de tipo raíz cuadrada, o la aproxima.

5. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 ó 4,
caracterizado por el hecho de que el bloque ecualizador no lineal (4) se basa
en un circuito electrónico o eléctrico que utiliza un dispositivo
semiconductor no lineal.

30 6. Receptor (1) según la reivindicación 5 caracterizado por el
hecho de que el dispositivo semiconductor es del tipo transistor de efecto

campo (FET, JFET, MOSFET, MESFET o HEMT).

7. Receptor (1) según la reivindicación 5 caracterizado por el hecho de que el dispositivo semiconductor es un diodo.

8. Receptor (1) según la reivindicación 5 caracterizado por el hecho de que el ecualizador no lineal se implementa a partir de la aproximación de la función por tramos o combinando diversas funciones lineales y no lineales para aproximar la función ideal, realizadas con dispositivos lineales y no lineales, ya sean analógicos o digitales, como una operación o una tabla de datos.

10 9. Receptor (1) según la reivindicación 8 caracterizado por el hecho de que utiliza para ello dispositivos semiconductores como el transistor bipolar (BJT) u otros.

10. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en los que se utiliza conectores, cables y demás elementos de interconexión o adaptación de las señales ópticas o eléctricas antes, después o dentro de los bloques constitutivos del receptor.

11. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el canal de comunicación puede ser el propio aire o el vacío.

20 12. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal óptica recibida S1 contiene una porción o vestigio de luz sin modular, para facilitar la realización práctica del receptor (1).

13. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el bloque procesador final (5) es básicamente lineal.

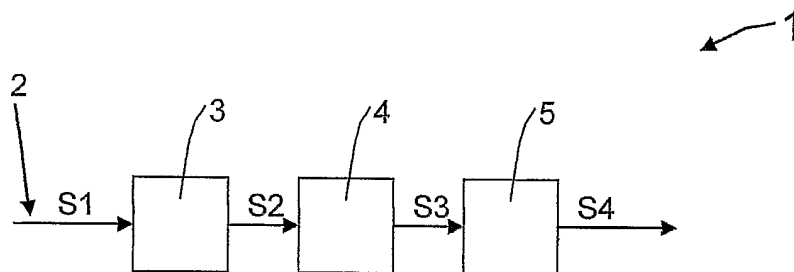
14. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el bloque procesador final (5) es del tipo "Maximum Likelihood Sequence Estimation" (MLSE) o, en general, de cualquiera de los tipos conocidos de dispositivos decisores adaptativos que operan con 30 símbolos recibidos aislados o en secuencia.

15. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones

anteriores, en el que el bloque procesador final (5) es del tipo "Decision-Feedback Equalizer" (DFE) o, en general, de cualquiera de los tipos conocidos de ecualizadores que se optimizan para obtener la mejor calidad de la señal a la salida del sistema.

- 5 16. Receptor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el bloque procesador final (5) está realizado a partir de una combinación de varios de los tipos conocidos de ecualizadores, filtros, decisores adaptativos o procesadores lineales o no lineales, analógicos o digitales, incluyendo decodificadores "hardware" o "software", iterativos o
- 10 no, como con códigos "Reed-Salomon", convolucionales, turbo o de control de paridad de baja densidad (LDPC), con técnicas de estimación de secuencias de máxima similitud, secuencial o iterativas con algoritmos de Viterbi o BCJR, y realizando o no funciones de decisión, posiblemente con un umbral adaptativo.

1/1

**FIGURA 1**