

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 304**

51 Int. Cl.:

H04L 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04762721 .1**

96 Fecha de presentación: **26.08.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1665615**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.06.2006**

54 Título: **Procedimiento y sistema para utilizar una diversificación cooperativa en circuitos de relés inalámbricos**

30 Prioridad:
12.09.2003 DE 10342190

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.10.2012

73 Titular/es:
**VODAFONE HOLDING GMBH (100.0%)
MANNESMANNUFER 2
40213 DÜSSELDORF, DE**

72 Inventor/es:
**HEROLD, PATRICK y
ZIMMERMANN, ERNESTO**

74 Agente/Representante:
ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 389 304 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para utilizar una diversificación cooperativa en circuitos de relés inalámbricos

5 **[0001]** La presente invención se refiere en general a un procedimiento y un sistema para transmisión de señales en una red de relés inalámbrica. El procedimiento se expresa esencialmente mediante un protocolo. La invención utiliza simultáneamente dos prestaciones puestas a disposición por los sistemas de relés inalámbricos o los sistemas de relés en entornos inalámbricos, como por ejemplo redes inalámbricas. Se trata de ganancias de diversidad (*diversity gains*) y reducción de pérdida de trayecto (*pathloss savings*). Un relé intermedio para decodificar y retransmitir (*decode-and-forward-relay*) apoya la transmisión de un origen a un destino. El destino combina las 10 señales que recibe del origen y del relé. Una característica fundamental de la invención consiste en que el nodo relé decide de forma independiente, si se retransmite información al destino o no. De este modo se minimiza el riesgo de una transmisión defectuosa, mientras se ponen a disposición ganancias de diversidad reales y constructivas para la comunicación mediante canales de desvanecimiento. En combinación con las reducciones de pérdida de trayecto, esto permite lograr mejoras significativas, tanto en relación con la transmisión directa como en relación con las 15 actividades convencionales de los relés.

[0002] El diseño de las redes inalámbricas se enfrenta a una presión creciente en cuanto a los costes: es necesario proporcionar tasas de transmisión de datos considerables con un coste razonable y de un modo casi ubicuo. Si se tienen en cuenta las limitaciones impuestas por las estimaciones de presupuesto de conexión para 20 futuras generaciones de las redes basadas en la infraestructura, la retransmisión (Relaying) se pone de relieve como una opción rentable para poder hacer frente al compromiso entre alcance y tasa de transmisión de datos.

[0003] En particular parece atractiva la utilización de equipos terminales móviles como relés, ya que esto no hace necesaria la instalación de una infraestructura adicional. Los relés que en esencia tienen un funcionamiento de tipo almacenamiento-y-retransmisión permiten reducir la atenuación extremo-a-extremo entre el origen de una información y su destino asignado. Normalmente, cada relé de una cadena de relés depende exclusivamente de la 25 información enviada por su predecesor inmediato y el destino escucha simplemente al último relé de esta cadena. Esto lo denominamos retransmisión convencional.

[0004] Recientemente han surgido los conceptos de la retransmisión cooperativa; véase "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior," (J. N. Laneman, D. N. C. Tse, y G. W. Wornell., enero 2002, presentado en IEEE Trans. Inform. Theory), así como "2-Hop Distributed MIMO Communication System," (M. Dohler, A. Gkelias, y H. Aghvami, IEEE Electronics Letters, junio de 2003), y las referencias que aparecen en los mismos. Permitiendo una cooperación entre los relés y combinando todas las transmisiones del origen y los relés en el destino, es posible utilizar la diversidad espacial de los sistemas de retransmisión. Esto lo denominamos retransmisión cooperativa. Como veremos, es posible aprovechar las ganancias de diversidad espacial modificando 30 ligeramente los protocolos de relé convencionales e incluyendo la complejidad de un elemento de combinación en el destino. Esto hace de la retransmisión cooperativa un candidato interesante para la mejora de los conceptos de utilización a base de relés.

[0005] Los fundamentos de la teoría de información de la retransmisión cooperativa entre dos usuarios se abordan en el artículo "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior" antes mencionado. En el artículo "2-Hop Distributed MIMO Communication System" antes mencionado se escudriñan 40 ideas similares. Más recientemente se ha estudiado el rendimiento de distintos sistemas prácticos (véase "On the Performance of Cooperative Diversity Protocols in Practical Wireless Systems," E. Zimmermann, P. Herhold, G. Fettweis, en Proc. 58th Vehic. Techn. Conf., Orlando, FL, oct. 2003), de lo que puede concluirse que el rendimiento de los sistemas cooperativos depende esencialmente de que se impida una propagación de errores.

[0006] Sin embargo, la mayoría de los protocolos de decodificación-y-retransmisión estudiados presentan una o varias de las desventajas siguientes: necesitan retroalimentación, los emisores deben tener a su disposición información de estado del canal (CSI) o no se aborda lo suficiente (o simplemente se supone que no se produce) la 45 propagación de errores inducida por los relés.

[0007] En la oposición "Distributed Space-Time Coded Protocols for Exploiting Cooperative Diversity in Wireless Networks" se describe un concepto para la retransmisión cooperativa. En éste se pone a disposición un protocolo especial, el así llamado "Space-Time Coded Protocol (protocolo de codificación espacio-tiempo)". Un origen transmite señales que pueden ser recibidas potencialmente por muchos relés. La transmisión se realiza mediante radiodifusión (Broadcast). Para la decodificación, los relés utilizan entonces el protocolo mencionado. Según esta técnica ya conocida, existen dos fases. En la primera fase, cada relé potencial recibe la señal del origen. Si la SNR (relación señal-ruido) es suficientemente grande para ser decodificada, el relé correspondiente funciona como relé 50 decodificador. En la segunda fase, el relé decodificador utiliza el protocolo especial.

[0008] El objetivo de la presente invención es por lo tanto crear un procedimiento y un sistema que supriman las desventajas del estado actual de la técnica pudiendo conseguirse al mismo tiempo una transmisión óptima.

[0009] El objetivo se logra mediante un procedimiento según la reivindicación 1 y un sistema según la reivindicación 8. De las reivindicaciones dependientes se desprenden otras características y configuraciones.

5 **[0010]** Así pues, según un primer aspecto de la invención, el objetivo se logra mediante un procedimiento para transmisión de señales en una red de relés inalámbrica, en el que la transmisión se realiza entre un origen, un destino y al menos un relé intercalado, el o los relés funcionan como relés de decodificación-y-retransmisión y la transmisión se realiza en al menos dos fases. El procedimiento está caracterizado porque, independientemente de la información relativa a otros componentes de la red, el o los relés deciden si se decodifica y se retransmite una señal recibida del origen o de al menos otro relé y porque para la toma de decisión relativa a la decodificación y la retransmisión se utilizan códigos de detección de error en la señal enviada.

10 **[0011]** Gracias a que el nodo relé decide de forma independiente si se retransmite la información al destino o no, se consiguen una serie de ventajas. Por ejemplo se minimiza el peligro de una propagación de errores. Sin embargo, al mismo tiempo pueden ponerse a disposición ganancias de diversidad realmente constructivas para la comunicación mediante canales de desvanecimiento. El procedimiento según la invención puede emplearse ventajosamente también en el caso de que en la red inalámbrica hayan de transmitirse señales al destino mediante varios relés intercalados, es decir mediante varios saltos (Hops). En lo que sigue nos referiremos esencialmente a un relé intercalado para una mayor sencillez.

[0012] Con el sistema según la invención pueden vencerse las desventajas del estado actual de la técnica arriba mencionadas y utilizar al mismo tiempo las reducciones de atenuación de los sistemas de retransmisión convencionales y las ganancias de diversidad de los sistemas de retransmisión cooperativos.

20 **[0013]** Para la decisión sobre la decodificación se utilizan de forma especialmente preferente características de la señal recibida en el relé. Éstas pueden resultar de la señal misma o de información asociada a la señal.

[0014] Según una forma de realización, para la toma de decisión relativa a la decodificación y la retransmisión se mide la relación señal-ruido de la señal recibida. Esta medición en el relé puede proporcionar información sobre la calidad de la señal y tomarse por lo tanto como base para la decisión sobre una retransmisión. En esta forma de realización, la decisión se toma con especial preferencia por medio de una comparación con un valor umbral. Si en el relé se recibe una señal cuya relación señal-ruido esté por debajo del valor umbral de decodificación, la señal no se decodifica ni tampoco se retransmite al destino. De este modo puede impedirse fácilmente la propagación de errores ya en un estadio temprano. La relación señal-ruido es adecuada como criterio de decisión, ya que ésta puede registrarse en el relé sin necesidad de conocer el estado de otros componentes del sistema, como por ejemplo el estado del canal o el estado del origen o el destino.

[0015] El valor umbral de decodificación para el relé se utiliza preferentemente como parámetro para optimizar la transmisión.

35 **[0016]** Según la invención pueden utilizarse además como parámetro para optimizar la transmisión las prestaciones de emisión asignadas a las fases de la transmisión. Éstas se utilizan con especial preferencia en combinación con el valor umbral de decodificación como parámetro. De este modo pueden hallarse compromisos relativos a la propagación de errores y las ganancias de diversidad alcanzables.

[0017] Según la invención, para la toma de decisión relativa a la decodificación y la retransmisión se utilizan códigos de detección de error en la señal enviada. Estos códigos de detección de error constituyen por lo tanto una información asociada a la señal que permite averiguar características de la señal, en particular su calidad.

40 **[0018]** En principio pueden utilizarse todos los códigos de detección de error conocidos. Ejemplos de códigos son la comprobación de redundancia cíclica (CRC) y los códigos de comprobación de paridad de baja densidad (Low-Density Parity Check Codes) (LDPC).

[0019] Si se detecta un error de decodificación por medio del código de detección de error, el relé no retransmite la señal al destino.

45 **[0020]** En el procedimiento según la invención puede ser suficiente con que el origen transmita una señal sólo una vez al o a los relés y al destino. De este modo pueden conseguirse ventajas en relación con otros procedimientos. Con esta configuración, el procedimiento según la invención es por ejemplo considerablemente más sencillo que un procedimiento en el que, en el caso de un no retransmisión por parte del o de los relés, el origen envía de nuevo la señal al destino. En este último caso el origen debe tener información sobre el estado del o de los relés.

50 **[0021]** El procedimiento según la invención se diseña preferentemente de manera que se minimice la tasa de error resultante. En una configuración se utiliza con este fin el conocimiento de las pérdidas de atenuación entre el origen, el relé y el destino para optimizar la transmisión.

[0022] Con el procedimiento según la invención se proporciona una manera sencilla de utilizar una diversificación cooperativa en circuitos de relés de redes inalámbricas.

5 **[0023]** Según otro aspecto, la invención se refiere a un sistema para transmisión de señales en una red de relés inalámbrica, que comprende al menos un origen, un destino y al menos un relé de decodificación y retransmisión intercalado. El relé se distingue porque comprende una unidad de decisión para la toma de decisión relativa a la decodificación y la retransmisión de una señal. La unidad de decisión puede comprender un procesador configurado para la ejecución de un programa. Según la invención, la unidad de decisión comprende una unidad para la detección de error mediante un código de detección de error. El destino comprende preferentemente una unidad de combinación para combinar señales. En esta unidad puede en particular combinarse una señal recibida previamente del origen con una señal codificada recibida de un relé. Por último, el destino puede comprender una unidad de memoria en la que se almacenen señales recibidas. Tales señales almacenadas constituyen en particular señales recibidas del origen.

[0024] Para que sea posible realizar también una demodulación cuando el relé decida no retransmitir una señal, en el sistema según la invención la unidad de demodulación está configurada de manera que ésta pueda acceder a señales almacenadas. Con este fin, la unidad de demodulación puede conectarse a la unidad de memoria, al menos por momentos.

15 **[0025]** El relé lo constituye preferentemente un equipo terminal móvil y con especial preferencia un teléfono móvil.

[0026] El sistema según la invención está configurado de manera que sea adecuado para realizar el procedimiento según la invención. Las ventajas y características descritas con relación al procedimiento según la invención son también válidas, correspondientemente y siempre que sean aplicables, para el sistema según la invención.

20 **[0027]** A continuación se describe de nuevo la invención detalladamente, para lo cual haremos referencia a las figuras adjuntas, que muestran:

- figura 1: dos formas de realización del sistema según la invención;
- figura 2: dependencia de los parámetros del procedimiento según la invención;
- figura 3: una comparación del rendimiento de una forma de realización con otro procedimiento; y
- figura 4: ganancias de SNR del procedimiento según la invención y la retransmisión convencional (L3DF) en comparación con la transmisión directa.

30 **[0028]** En lo que sigue, el procedimiento según la invención se denominará también protocolo, en particular protocolo AdDF sencillo. La invención proporciona un protocolo sencillo, que utiliza simultáneamente dos potenciales ofrecidos por los sistemas de relés inalámbricos (ganancias de diversidad y reducciones de atenuación [pathloss savings]). En la descripción se continúa analizando el protocolo. Al menos un relé de decodificación y retransmisión intercalado apoya la transmisión del origen al destino; el destino combina las señales que recibe del origen y del relé. La característica clave del sistema y el procedimiento propuestos, es que el nodo relé decide de forma independiente si se retransmite la información al destino o no, con lo que se minimiza el peligro de una propagación de errores, mientras se ponen a disposición ganancias de diversidad realmente constructivas para la comunicación mediante canales de desvanecimiento. En combinación con las reducciones de atenuación, esto permite lograr beneficios significativos, tanto en relación con la transmisión directa como en relación con la retransmisión convencional.

[0029] A continuación se describe la invención más detalladamente con referencia al protocolo según la invención.

40 **[0030]** Proponemos un protocolo adaptativo de decodificación-y-retransmisión sencillo (adaptive decode-and-forward AdDF). Según nuestros conocimientos, esta terminología se utilizó por primera vez en el artículo "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior" antes mencionado.

[0031] En los protocolos adaptativos de decodificación-y-retransmisión se distingue según la invención entre el protocolo adaptativo de decodificación-y-retransmisión sencillo y el complejo.

45 **[0032]** En primer lugar se describe un AdDF sencillo (simple AdDF). Suponemos la situación mostrada en la figura 1(a), en la que un origen envía información a un destino directamente y por medio de un relé. La comunicación se realiza en dos fases, como especifica la restricción de ortogonalidad (sin envío y recepción simultáneos en una frecuencia al mismo tiempo):

En la fase 1, el origen envía su información. Tanto el relé como el destino reciben versiones atenuadas y con ruido de esta señal y el destino almacena esta versión para su posterior procesamiento. El relé mide la relación señal-ruido SNR efectiva de la señal recibida; si ésta se halla por encima de un valor umbral de decodificación SNR_{dec} , decodifica la señal. En caso contrario, abandona la decodificación. Según la invención, la decisión sobre la retransmisión se toma a partir de una comprobación de redundancia cíclica (CRC) o un procedimiento similar para la detección de error. Si la comprobación se lleva a cabo con éxito, es decir si la señal recibida se reconoce como exenta de errores, se realiza la retransmisión. En caso contrario, no se realiza el mismo.

[0033] En la fase 2, si el relé ha decidido decodificar, envía nuevamente una nueva versión codificada al destino. El destino combina la versión recibida de la señal con las muestras almacenadas recibidas previamente del origen. En caso contrario, es decir si el relé ha decidido no decodificar, simplemente permanece inactivo. El destino reconoce este caso basándose en la falta de una intensidad de señal suficiente y debe contar para la demodulación sólo con la versión almacenada en la fase 1.

[0034] Este protocolo logra ganancias de diversidad espacial, ya que el relé decodifica con frecuencia copias de la información original para unas buenas condiciones de canal y las envía al destino a través de un canal sin correlación. Al mismo tiempo podemos aprovechar las reducciones de atenuación: una estación repetidora dispuesta entre el origen y el destino recibirá los mensajes enviados por el origen con una fiabilidad considerablemente mayor que el destino y además tendrá que utilizar una potencia de emisión considerablemente menor para 'alcanzar' el destino.

[0035] A continuación se describe el AdDF complejo (*complex AdDF*), que constituye el protocolo propuesto en el artículo "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior" antes mencionado. Se diferencia del protocolo AdDF sencillo únicamente en los casos en los que el relé ha decidido no decodificar. Recordemos que en este caso tanto el relé como el origen permanecen inactivos en el protocolo AdDF sencillo. Sin embargo, el protocolo AdDF complejo impide esta 'inactividad' haciendo que el origen repita su mensaje. El destino combina entonces las dos versiones recibidas en las dos fases. Estas ganancias resultantes de la codificación iterativa estándar implican una complejidad elevada, ya que el origen debe tener información sobre el estado de decodificación del relé.

[0036] Para el diseño del procedimiento y del sistema para transmisión de señales deben tenerse en cuenta los parámetros que influyen en los mismos y los compromisos necesarios.

[0037] Dos parámetros determinan el rendimiento del protocolo. El valor umbral de decodificación SNR_{dec} define la relación señal-ruido mínima con la que el relé decodifica la señal enviada por el origen. Debe tenerse en cuenta el compromiso correspondiente: un valor umbral SNR_{dec} alto reduce la probabilidad de un error de decodificación, con lo que se minimiza el peligro de una propagación de errores causado por el relé que efectúa la retransmisión. Por otra parte, un valor umbral de decodificación alto reduce el número de casos en los que el relé decodifica y retransmite, con lo que se reducen las ventajas de diversidad. Si se utiliza una CRC u otro mecanismo de detección de error para la toma de decisión relativa a la retransmisión, se suprime la elección del valor umbral SNR_{dec} .

[0038] El segundo parámetro importante es la parte de potencia asignada a la transmisión en la fase 1 por el origen. Para conseguir una comparación en regla es importante que toda la energía consumida por el sistema de relés cooperativo no sobrepase la del sistema directo correspondiente. Conforme a esto, podemos utilizar en la fase 1 una parte p de la potencia disponible para el envío por parte del origen, con lo que queda una parte de potencia $1-p$ para la segunda fase ($0 \leq p \leq 1$). De nuevo existe un compromiso: si se elige el valor de p demasiado grande, el resultado es una gran probabilidad de que el relé decodifique, pero a la postre no se deja potencia disponible para que el relé proporcione ganancias de diversidad en la fase 2. Nos atenemos a que nuestro planteamiento se basa en una limitación de potencia estricta y conservadora; si es posible añadir potencia adicional al relé, esto sólo puede aumentar el atractivo del protocolo estudiado.

[0039] El ajuste óptimo para los parámetros SNR_{dec} y p se aborda en la sección III.

[0040] A continuación se describe la comparación del rendimiento de diferentes protocolos.

[0041] Estudiamos tanto el protocolo AdDF sencillo como el complejo y comparamos sus rendimientos con la comunicación SISO directa, la diversidad de envío de dos ramas (véase "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications" S.M. Alamouti, IEEE J. Select. Areas Comm., edición 16 nº 8, páginas 1451-1458, oct. 1998) y la retransmisión convencional. En la retransmisión convencional, el relé decodifica en todos los casos y el destino recibe sólo la señal transmitida por el relé. Esto se denomina también retransmisión de decodificación y retransmisión de capa 3 (L3DF).

[0042] A continuación se describe el análisis de rendimiento, en particular el análisis de la probabilidad de error.

[0043] En esta sección, nuestro objetivo es determinar la tasa de error binario extremo-a-extremo para los protocolos a considerar.

[0044] Con este fin se hacen las siguientes suposiciones en relación con un esquema de modulación, un modelo de canal, la geometría de la red y la energía:

Esquema de modulación: La naturaleza de dos fases de los protocolos de relé analizados requiere una duplicación de la eficacia espectral de las fases individuales en comparación con la eficacia espectral de la transmisión directa. En particular, estudiamos dos casos a modo de ejemplo:

(i) desplazamiento de fase binaria (*binary phase shift keying BPSK*) para la transmisión directa y desplazamiento de fase cuaternaria (*quaternary phase shift keying QPSK*) para los esquemas de relés y (ii) QPSK para la transmisión

directa y 16-QAM (modulación de amplitud cuaternaria de 16 fases) para los esquemas de relés. Debería observarse que la comparación BPSK/QPSK es un poco injusta: la doble eficacia espectral se logra en el caso del relé prácticamente sin pérdidas, ya que QPSK y BPSK presentan el mismo rendimiento. Por este motivo, estudiamos el caso QPSK/16-QAM, donde las ganancias de la reducción de atenuación y de la diversidad espacial compiten contra la pérdida de relación señal-ruido provocada por el esquema de modulación de orden superior. Las probabilidades de errores de bit pueden evaluarse en ambos casos utilizando la función Q:

$$P_e(SNR) \leq aQ(\sqrt{bSNR}), \quad (1)$$

en la que $a = 1$, $b = 2$ para BPSK y QPSK y $a = 4/\log_2(16) = 1$, $b = 4/5$ para 16-QAM para mapeo de Gray (ecuación (5.2-80) de John G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill International Editions, 4ª edición, 2002, adaptada, para obtener la tasa de error de bit BER en lugar de la tasa de error de símbolo SER).

[0045] Modelo de canal: La comunicación se realiza sin codificar y por símbolos mediante canales de desvanecimiento de frecuencia plana. Aunque el análisis se realiza símbolo por símbolo, los resultados son válidos también para esquemas basados en bloques sin codificar en el caso de una suposición de desvanecimiento de bloque. Los valores $|h_{i,j}|$ de los coeficientes de canal siguen una distribución de Rayleigh; por consiguiente, las potencias por canal $|h_{i,j}|^2$ están distribuidas exponencialmente. Si se supone que el parámetro de esta distribución exponencial es $\sigma_{i,j}^{-2}$, es posible admitir los efectos de la atenuación y de la distancia variando la potencia media $\sigma_{i,j}^{-2}$ de los canales.

[0046] Geometría de la red: Puede distinguirse entre configuraciones de red simétrica y asimétrica: véase la figura 1. En la figura 1 se muestran configuraciones de red simétrica y asimétrica. La retransmisión cooperativa se centra frecuentemente en el caso de las redes simétricas, para poner de relieve las ventajas recíprocas de la cooperación entre el origen y el relé. Si se sacrifica la geometría, pueden utilizarse reducciones de atenuación del escenario asimétrico, que con frecuencia se estudian en conexión con la retransmisión convencional. Para tener esto en cuenta, modelamos las atenuaciones, es decir las potencias medias por canal $\sigma_{i,j}^{-2}$, como una función de la posición relativa de relé r sin perder universalidad, mediante

$$\sigma_{s,d}^2 = 1, \quad \sigma_{s,r}^2 = r^{-\alpha}, \quad \sigma_{r,d}^2 = (1-r)^{-\alpha}, \quad (2)$$

en la que α es el exponente de atenuación y $0 < r < 1$. En este documento nos centramos en el caso $\alpha = 3$.

[0047] Energía: Suponemos para la transmisión directa que $SNR = E_b/N_0$ por bit de información dividido entre el origen y el relé en el caso de la retransmisión según la parte de potencia p de la primera fase.

[0048] A continuación veremos la determinación de la probabilidad de un error de bit.

[0049] Nos centramos en el análisis siguiente en el caso de que la toma de decisión sobre la retransmisión se tome a partir del valor umbral de decodificación SNR_{dec} . Si se utiliza una CRC u otro mecanismo de detección de error, la propagación de errores se elimina de todos modos.

[0050] Empezaremos viendo la probabilidad de decodificación. Con este fin consideramos la probabilidad de que el relé decodifique la señal enviada por el origen. El relé decodifica si su relación señal-ruido SNR recibida es mayor que el valor umbral de decodificación SNR_{dec} elegido. La SNR momentánea se determina a través de la potencia por canal de desvanecimiento $|h_{s,r}|^2$, la parte de potencia p asignada a la primera fase y la SNR media. Por consiguiente, el caso de decodificación es:

$$|h_{s,r}|^2 \cdot p \cdot SNR > SNR_{dec} \Leftrightarrow |h_{s,r}|^2 > \frac{SNR_{dec}}{p \cdot SNR}. \quad (3)$$

ya que la potencia por canal $|h_{s,r}|^2$ está distribuida exponencialmente con una media $\sigma_{s,r}^2$, se obtiene la probabilidad de decodificación como:

$$P_{dec} = \int_{\frac{SNR_{dec}}{p \cdot SNR}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_{s,r}^2} e^{-\frac{\gamma}{\sigma_{s,r}^2}} d\gamma = \exp\left(-\frac{SNR_{dec}}{\sigma_{s,r}^2 p SNR}\right). \quad (4)$$

[0051] A continuación se describe el resultado de la determinación de la probabilidad de un error de bit:

La probabilidad de error del protocolo adaptativo de decodificación-y-retransmisión puede formularse como:

$$P_e^{(\text{AdDF})} = P_{\text{dec}} \cdot P_e^{(\text{Div})} + (1 - P_{\text{dec}}) \cdot P_e^{(\text{Direct})}, \quad (5)$$

en la que P_{dec} es la probabilidad de decodificación (4) y $P_e^{(\text{Div})}$ es la probabilidad de que aparezca un error en la transmisión de diversidad combinada del origen y el relé al destino. Además, $P_e^{(\text{Direct})}$ es la probabilidad de un error si el relé ha decidido no decodificar, debiendo entonces el destino contar sólo con la comunicación directa del origen. A continuación estudiamos ambos casos de error.

[0052] Transmisión de diversidad: Ésta se presenta cuando el relé ha decidido decodificar y retransmitir. En este caso, el destino combina las señales que ha recibido del origen en la primera fase y del relé en la segunda fase. La probabilidad de error resultante es:

$$P_e^{(\text{Div})} = P_e^{(s,r)} P_e^{(x)} + (1 - P_e^{(s,r)}) P_e^{(2)}. \quad (6)$$

[0053] Dependiendo de si el relé decodifica correctamente o no, existen dos casos de error mutuamente excluyentes relativos a un error de decisión que pueden llevar al destino.

[0054] En primer lugar existe, para un valor umbral de decodificación mal elegido, el peligro de un error de decisión en el relé. Éste se presenta con una probabilidad $P_e^{(s,r)}$ y depende del valor umbral de decodificación SNR_{dec} y de la SNR media efectiva en el relé. Para el valor umbral de decodificación $\gamma_0 = \text{SNR}_{\text{dec}}$ y la SNR media $\bar{\gamma} = p\sigma_{s,r}^2 \text{SNR}$ es posible determinar la probabilidad del error en el relé de decodificación en forma cerrada utilizando el resultado de la ecuación (21) descrita más adelante:

$$P_e^{(s,r)} = P_e^{(\gamma_0)}(\text{SNR}_{\text{dec}}, p\sigma_{s,r}^2 \text{SNR}). \quad (7)$$

[0055] En el caso de un error de decisión de este tipo, el relé transmite una señal defectuosa al destino. Esto lleva a una propagación de errores, ya que el destino se enfrenta probablemente a una información contradictoria del origen y el relé. Aproximamos la probabilidad de error resultante con $P_e^{(x)} \leq 1/2$. Una propagación de errores de este tipo debería impedirse mediante una elección adecuada de la SNR_{dec} en el relé, o se elimina por completo mediante la utilización de una CRC u otro mecanismo de detección de error.

[0056] En segundo lugar, si el relé ha decodificado correctamente (con una probabilidad de $1 - P_e^{(s,r)}$), transmite al destino una señal recién codificada. Éste es el caso deseado de la utilización de la diversidad espacial, ya que el destino combina esta señal con la versión que ha recibido del origen en la primera fase. La tasa de error $P_e^{(2)}$ de esta combinación de diversidad depende de las SNR efectivas de los dos canales en cuestión. Éstas son $\bar{\gamma}_1 = p\sigma_{s,d}^2 \text{SNR}$ para el canal del origen al destino y $\bar{\gamma}_2 = (1 - p)\sigma_{r,d}^2 \text{SNR}$ para el canal del relé al destino. En (22), en el apéndice C, se proporciona una solución cerrada de $P_e^{(2)}$ para el nuevo caso $\bar{\gamma}_1 \neq \bar{\gamma}_2$.

[0057] Sin transmisión de diversidad: Si el relé ha decidido no decodificar, el destino debe contar sólo con el canal directo del origen al destino. Para el protocolo AdDF sencillo propuesto, en el que el relé y el origen permanecen inactivos en la segunda fase, la SNR efectiva en el destino es $p\sigma_{s,d}^2 \text{SNR}$. Para el protocolo AdDF complejo, el origen utiliza una parte de potencia de p para la fase de envío y una parte de $1-p$ para la codificación iterativa en la fase dos, lo que tiene como resultado en el destino una SNR efectiva combinada de $(p + (1 - p))\sigma_{s,d}^2 \text{SNR} = \sigma_{s,d}^2 \text{SNR}$. Por ello, para la comunicación mediante el canal de Rayleigh del origen al destino (ecuación (14.3-7) de John G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill International Editions, 4ª edición, 2002)]

$$P_e^{(\text{Direct})} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\text{SNR}_{\text{eff}}}{1 + \text{SNR}_{\text{eff}}}} \right), \quad (8)$$

$$\text{SNR}_{\text{eff}} = \begin{cases} p\sigma_{s,d}^2 \text{SNR} & \text{AdDF sencillo} \\ \sigma_{s,d}^2 \text{SNR} & \text{AdDF complejo} \end{cases} \quad (9)$$

[0058] En este punto hemos obtenido una solución cerrada para la probabilidad de error del protocolo propuesto mediante canales de desvanecimiento de Rayleigh (utilizando (4), (6), (7), (22), y (8) en (5)).

[0059] A continuación se describe la optimización del protocolo:

Recordemos que los dos parámetros que regulan el protocolo propuesto son: la parte de potencia p de la primera fase y el valor umbral de decodificación SNR_{dec} en el relé. Ambos deben elegirse de manera que se minimice la tasa de error de bit BER resultante. A raíz de las fórmulas en esencia no algebraicas, no es posible derivar reglas de optimización cerradas; desgraciadamente, lo mismo es válido para las simplificaciones mediante desarrollo en serie.

[0060] Sin embargo, utilizando las expresiones cerradas obtenidas es posible fijar numéricamente los parámetros óptimos. Esto permite a su vez establecer reglas empíricas. La figura 2 muestra los parámetros óptimos resultantes en cada caso para distintas combinaciones de SNR y geometría de red para el escenario BPSK/QPSK.

[0061] La figura 2 muestra combinaciones de parámetros óptimas que minimizan la probabilidad de error: parte de potencia óptima $p^{(opt)}$ o valor umbral de decodificación óptimo $SNR_{dec}^{(opt)}$. Los valores óptimos dependen de la SNR y de la configuración de la red. Los resultados se obtienen mediante una evaluación numérica (5) para el esquema BPSK/QPSK. Las marcas corresponden a los valores SNR en incrementos de 2 dB.

[0062] Por ejemplo elegimos, si el relé está dispuesto en la mitad entre el origen y el destino ($r=0,5$) y SNR es = 16 dB, una parte de potencia de la primera fase $p = 0,8$ y un valor umbral de decodificación $SNR_{dec} = 6$ dB en el relé. De la figura se desprende en general que la parte de potencia óptima $p^{(opt)}$ no depende en gran medida de la SNR, sino que se ve influida de manera decisiva por la geometría de la red que sirve de base.

[0063] Podemos ver que cuanto mayor es la distancia relativa del origen al relé, tanto más potencia debería asignarse para la transmisión desde el origen - un resultado intuitivo.

[0064] A continuación trataremos las reglas de optimización. Recordemos que el protocolo aspira a maximizar las ganancias de diversidad. Esto se logra en esencia mediante SNR iguales de las dos ramas de diversidad; en nuestro caso esto presupone SNR iguales de los canales del origen y del relé al destino. Sin embargo, para tener en cuenta el compromiso entre las ganancias de diversidad y la probabilidad de error de decodificación en el relé, introduciremos un factor de escala "s". Esto lleva a la condición siguiente para la parte de potencia optimizada de la primera fase p :

$$sp\sigma_{s,d}^2 SNR = (1 - p)\sigma_{r,d}^2 SNR, \quad (10)$$

que, una vez resuelta p , da como resultado:

$$p^{(opt)} = \frac{1}{1 + s \frac{\sigma_{s,d}^2}{\sigma_{r,d}^2}} \quad (11)$$

[0065] Mediante reconstrucción de curvas hemos descubierto que $s \approx 2,5$ es adecuado. Además, hemos obtenido una expresión de aproximación para el valor umbral de decodificación óptimo. De los resultados se desprende que eligiendo SNR_{dec} según

$$SNR_{dec}^{(opt)} [dB] \approx A \sqrt{1.8 \cdot p\sigma_{s,r}^2 SNR [dB]}, \quad (12)$$

se minimiza la probabilidad de un error, si ésta se aplica junto con la parte de potencia óptima (11). El parámetro es $A = 1$ para BPSK/QPSK y $A = 1,5$ para el escenario QPSK/16-QAM. Por último, hemos descubierto que las redes simétricas pueden parametrizarse igual que las redes asimétricas con $\sigma_{s,r}^2 = \sigma_{r,d}^2$ para SNR grandes.

[0066] A continuación estudiamos los límites de rendimiento.

[0067] Antes de estudiar el rendimiento del protocolo AdDF, veremos brevemente tres alternativas distintas.

1) Transmisión directa: La tasa de error viene dada por (8) con $SNR_{eff} = \sigma_{s,d}^2 SNR$, que constituye la SNR del canal directo del origen al destino.

2) Diversidad de envío: La tasa de error para un sistema de diversidad de dos ramas con SNR iguales en cada una de las ramas viene dada por (ecuación (14.4-15) de John G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill International Editions, 4ª edición, 2002)

$$P_e^{(2, TxDiv)} = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{SNR_{eff}} (3 + 2SNR_{eff})}{4(1 + SNR_{eff})^{\frac{3}{2}}} \quad (13)$$

Un ejemplo es el esquema de Alamouti [4]. La SNR efectiva de los dos canales entre el origen y el destino es $SNR_{eff} = p\sigma_{s,d}^2 SNR$, con $p = 0,5$ para la diversidad de envío.

5 3) Decodificación y retransmisión en capa 3: En el caso de una retransmisión convencional, el relé actúa de simple retransmisor y el destino depende sólo de la información enviada por el relé. El rendimiento de este protocolo es:

$$P_e^{(L3DF)} = 1 - (1 - P_e^{(s,r)})(1 - P_e^{(r,d)}), \quad (14)$$

en la que $P_e^{(s,r)}$ y $P_e^{(r,d)}$ son las tasas de errores para la comunicación mediante los dos canales de desvanecimiento de Rayleigh sucesivos, dadas por (8) con SNR efectivas $p\sigma_{s,r}^2 SNR$ ó $(1-p)\sigma_{r,d}^2 SNR$. El protocolo gana en reducciones de atenuación, pero no en diversidad espacial. La tasa de error de bit BER se

10 minimiza claramente con $P_e^{(s,r)} = P_e^{(r,d)}$, lo que lleva a una parte de potencia óptima de

$$P_{(L3DF)}^{(opt)} = \frac{1}{1 + \sigma_{r,d}^2 / \sigma_{s,r}^2} \quad (15)$$

[0068] A continuación nos centraremos en la comparación del protocolo AdDF con estos esquemas convencionales.

[0069] Así pues, resumiendo puede decirse lo siguiente:

15 Comenzamos por discutir el rendimiento para redes simétricas. La figura 3 compara el rendimiento del protocolo AdDF sencillo propuesto con el protocolo AdDF complejo y sus límites de rendimiento.

[0070] La figura 3 muestra la tasa de error de bit sobre la tasa de error de símbolo para el protocolo adaptativo de decodificación-y-retransmisión propuesto, en comparación con la transmisión directa, la retransmisión en capa 3 (L3DF) y la diversidad de envío. Red simétrica. Líneas de trazo continuo: simulación, cuadrados: análisis (para AdDF).
20

[0071] Ambos protocolos AdDF logran ganancias de diversidad en comparación con la transmisión directa y la retransmisión convencional. Los protocolos cooperativos alcanzan por ejemplo, con $BER=10^{-2}$, ganancias de aproximadamente 2-3 dB. Hay que tener en cuenta que el protocolo complejo funciona sólo ligeramente mejor que su equivalente sencillo. El motivo de ello es el hecho de que las ganancias de la codificación iterativa en la fase dos, para la que sólo está disponible una pequeña parte de potencia $1-p$, no son considerables. Puede sacarse la conclusión de que el AdDF sencillo y el complejo son muy similares en su rendimiento; por lo tanto, en el resto del documento nos centraremos sólo en la versión sencilla. Por último, vemos que el análisis y los resultados de la simulación coinciden; las diferencias se basan en la aproximación de $P_e^{(x)}$ en (6).
25

[0072] A continuación veremos las redes asimétricas. El protocolo AdDF propuesto está diseñado para aprovechar tanto las ganancias de diversidad como las reducciones de atenuación. La ventaja mencionada en último lugar debería hacerse patente en las redes asimétricas, en las que el relé está dispuesto entre el origen y el destino. La figura 4 confirma en efecto que es posible lograr mejoras considerables utilizando el protocolo AdDF sencillo.
30

[0073] La figura 4 muestra ganancias de SNR del AdDF sencillo y la retransmisión convencional (L3DF) en comparación con la transmisión directa. Mientras que L3DF utiliza reducciones de atenuación, el protocolo AdDF cooperativo aprovecha adicionalmente ganancias de diversidad. Los parámetros son $BER = 10^{-2}$ y exponente de atenuación $\alpha = 3,0$.
35

[0074] El diagrama muestra la ganancia de SNR en comparación con la transmisión directa con $BER=10^{-2}$ como una medición de rendimiento descriptiva para ajustes sin codificación de ambos esquemas de modulación estudiados (BPSK/QPSK y QPSK/16-QAM).

40 **[0075]** Vemos que, mediante la utilización de la diversidad, el protocolo cooperativo aventaja al protocolo de relés convencional en al menos 3 dB para ambas eficacias espectrales y para todas las posiciones de relé estudiadas. Lo siguiente que comprobamos es que la pérdida de SNR (véase el artículo "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior" antes mencionado), que se presenta por la utilización de una

eficacia espectral mayor, lleva a un peor rendimiento correspondiente del protocolo de relés, comparado con la transmisión directa. Por ejemplo, la disposición del relé en la mitad entre el origen y el destino ($r = 0,5$) y la utilización de QPSK para la transmisión cooperativa por relé lleva a una ganancia de SNR de 6,6 dB en comparación con la transmisión directa con BPSK. Esta ganancia se reduce a 3,6 dB si se utiliza la transmisión por relé 16-QAM en lugar de la transmisión QPSK directa. A la postre puede concluirse de la ganancia negativa de SNR que el protocolo L3DF convencional con 16-QAM funciona peor que la transmisión QPSK directa. Merece la pena repetir que estos resultados se han obtenido bajo una estricta normalización de potencia, retardo y ancho de banda.

[0076] Por lo que se refiere a la implementación del protocolo puede determinarse que el protocolo AdDF sencillo propuesto es similar a los protocolos de retransmisión convencionales. Dado que el relé decide de forma independiente si decodifica y retransmite o no, no se necesita información de retroalimentación. De hecho, el protocolo depende sólo del conocimiento de la SNR media o de la utilización de una CRC o de otro mecanismo de detección de error y las atenuaciones medias a largo plazo entre los nodos correspondientes. Por lo tanto no se necesita en los emisores un conocimiento explícito sobre la información de estado de canal, pero, como es habitual, se necesitan estimaciones de los coeficientes de canal para la combinación y la demodulación en los receptores. Por lo que se refiere a la sincronización se aplican las mismas condiciones previas que para la retransmisión convencional.

[0077] Con la presente invención se ha propuesto un protocolo adaptativo de decodificación-y-retransmisión sencillo, que está diseñado para combinar las reducciones de atenuación de la retransmisión convencional con las ganancias de diversidad espacial de la retransmisión cooperativa. Dos parámetros, en concreto el valor umbral de decodificación, utilizado por el relé, y la parte de la potencia total asignada a la transmisión desde el origen, permiten adaptar el protocolo a determinados regímenes de SNR y condiciones de atenuación. Las expresiones cerradas obtenidas para la probabilidad de error extremo-a-extremo han ayudado a encontrar reglas para la adaptación de los parámetros. Éstas se basan en el conocimiento sobre la SNR media y las atenuaciones medias; en los emisores no se requiere información de estado de canal.

[0078] El esquema AdDF sencillo presenta ganancias de SNR de hasta siete decibelios en comparación con la transmisión directa, mientras que se ha comprobado que la retransmisión convencional alcanza tres decibelios. Estos resultados se han obtenido bajo una estricta normalización de potencia, ancho de banda y retardo para una comunicación por símbolos mediante canales de desvanecimiento de Rayleigh. Por último, comprobamos que el protocolo cooperativo tiene el mismo número de nodos de transmisión que la retransmisión convencional, lo que puede ser un primer signo muy prometedor del rendimiento de nivel de sistema en escenarios limitados por interferencias.

[0079] Teniendo en cuenta estos resultados, creemos que el protocolo adaptativo de decodificación-y-retransmisión propuesto es un candidato interesante para futuras redes inalámbricas.

[0080] A continuación se describen las probabilidades de error utilizadas en la descripción anterior.

[0081] En primer lugar vemos la probabilidad de error para cualesquiera estadísticas de desvanecimiento.

[0082] A continuación determinamos diferentes probabilidades de error para una señalización BPSK, QPSK y 16-QAM mediante canales de desvanecimiento. La estadística de un canal de desvanecimiento de este tipo se describe mediante una función de densidad de probabilidad $p_\gamma(\gamma)$, siendo γ la relación señal-ruido y $\gamma_a \leq \gamma \leq \gamma_n$. Para un canal de desvanecimiento de Rayleigh, la SNR está por ejemplo distribuida exponencialmente con $\gamma_a = 0$ y $\gamma_b \rightarrow \infty$. Comenzamos con la derivación de la probabilidad de error para una función de densidad de probabilidad general (pdf) $p_\gamma(\gamma)$, que a continuación se aplica a casos especiales.

[0083] La probabilidad media de errores viene dada por:

$$P_e = \int P_e(\gamma) p_\gamma(\gamma) d\gamma \tag{16}$$

$$\leq \int_{\gamma_a}^{\gamma_n} aQ(\sqrt{b\gamma}) p_\gamma(\gamma) d\gamma,$$

con $P_e(\gamma)$ según (1) para los distintos esquemas de modulación. Si se introduce:

$$u(\gamma) = \int p_\gamma(\gamma) d\gamma \tag{17}$$

obtenemos, mediante una integración parcial de (16)

$$P_e \leq u(\gamma) aQ(\sqrt{b\gamma}) \Big|_{\gamma_a}^{\gamma_n} - \int_{\gamma_a}^{\gamma_n} \frac{d}{d\gamma} \{ aQ(\sqrt{b\gamma}) \} u(\gamma) d\gamma$$

[0084] La aplicación de la definición de la función Q y la utilización de la regla de Leibnitz (véase la ecuación (0.410) pág. 23, I.S. Gradshteyn and I.M. Ryzhik, Table of Integrals, Series, and Products, Academic Press, San Diego, CA, 5ª edición, 1994) lleva, tras una simplificación, a

$$P_e \leq u(\gamma) a Q(\sqrt{b\gamma}) \Big|_{\gamma=\gamma_0}^{\gamma_0} + \frac{a\sqrt{b}}{2\sqrt{2\pi}} \int_{\gamma_0}^{\gamma_0} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} u(\gamma) e^{-\frac{1}{2}\gamma} d\gamma. \quad (18)$$

5 **[0085]** Utilizando este resultado general determinaremos ahora la probabilidad de error para estadísticas de desvanecimiento especiales a considerar $p_\gamma(\gamma)$.

[0086] A continuación se determina la probabilidad de error en un relé decodificador.

10 **[0087]** Consideramos el caso especial de comunicación por medio de un único canal de desvanecimiento de Rayleigh, donde sólo se realiza una detección si la SNR momentánea sobrepasa un valor umbral γ_0 . La pdf resultante de la SNR efectiva es una función exponencial reducida:

$$p_\gamma^{(\gamma_0)}(\gamma) = \begin{cases} 0 & \gamma < \gamma_0 \\ \frac{1}{c\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right) & \gamma \geq \gamma_0 \end{cases}, \quad (19)$$

en la que $\bar{\gamma}$ es la SNR media del canal de desvanecimiento de Rayleigh y $c = \exp(-\gamma_0 / \bar{\gamma})$ es una constante de normalización, que asegura una superficie unitaria bajo la pdf.

15 **[0088]** Pasemos ahora al resultado general (18). Para el problema a resolver, la pdf tiene como base $\gamma_a = \gamma_0$ a $\gamma_h \rightarrow \infty$, de manera que $u(\gamma) = -(1/c)\exp(-\gamma/\bar{\gamma})$ utilizando (19) en (17). Esto lleva a:

$$P_e^{(\gamma_0)}(\gamma_0, \bar{\gamma}) \leq a Q(\sqrt{b\gamma_0}) - \frac{a\sqrt{b}}{2c\sqrt{2\pi}} \int_{\gamma_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} e^{-\left(\frac{b}{2} + \frac{1}{\bar{\gamma}}\right)\gamma} d\gamma$$

[0089] Si se sustituye

$$\left(\frac{b}{2} + \frac{1}{\bar{\gamma}}\right)\gamma = \frac{t^2}{2}, \quad (20)$$

20 en la que se ha introducido t como una nueva variable de integración, y se aplica la definición de la función Q, esto lleva a

$$P_e^{(\gamma_0)}(\gamma_0, \bar{\gamma}) \leq a Q(\sqrt{b\gamma_0}) - a e^{\frac{\gamma_0}{\bar{\gamma}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2}{b\bar{\gamma}}}} Q\left(\sqrt{2\gamma_0\left(\frac{b}{2} + \frac{1}{\bar{\gamma}}\right)}\right) \quad (21)$$

para $\gamma_0 = 0$, $a = 1$, $b = 2$ obtenemos la bien conocida probabilidad del error para la transmisión BPSK/QPSK mediante un canal de desvanecimiento de Rayleigh; véase la ecuación (14.3-7) de John G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill International Editions, 4ª edición, 2002.

25 **[0090]** Por último, veamos la probabilidad de error para la recepción de diversidad.

[0091] Para determinar la probabilidad del error resultante para la *Maximal Ratio Combining (relación de combinación máxima) (MRC)* de L ramas de diversidad debe calcularse la pdf de la suma de L variables de SNR aleatorias. Para nuestro protocolo de diversidad distribuido, las dos señales son transmitidas por distintos terminales y pasan a través de canales con atenuaciones diferentes.

30 **[0092]** Por lo tanto tenemos diferentes SNR medias ($\bar{\gamma}_1 \neq \bar{\gamma}_2$) en la entrada del *Maximal Ratio Combiner*; en este caso no pueden aplicarse resultados estándar [5]. Comenzamos con el cálculo de la pdf de la SNR combinada. Cada una de las dos pdf exponenciales viene dada por

$$p_{\gamma_i}(\gamma_i) = \frac{1}{\gamma_i} \exp\left(-\frac{\gamma_i}{\gamma_i}\right), \quad \gamma_i > 0, \quad i = 1, 2.$$

[0093] La pdf de la suma de dos variables aleatorias sin correlación es la convolución de las pdf correspondientes:

$$p_{\gamma}(\gamma) = p_{\gamma_1} * p_{\gamma_2} = \int p_{\gamma_1}(\gamma_1) p_{\gamma_2}(\gamma - \gamma_1) d\gamma_1.$$

para $\gamma_1 \neq \gamma_2$, esto se simplifica a

$$p_{\gamma}(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}_1 - \bar{\gamma}_2} \left(e^{-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_1}} - e^{-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_2}} \right)$$

5

[0094] A partir de (17), obtenemos

$$u(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}_2 - \bar{\gamma}_1} \left(\bar{\gamma}_1 e^{-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_1}} - \bar{\gamma}_2 e^{-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_2}} \right)$$

[0095] Si se utiliza esto en (18) y se aplica de nuevo la sustitución (20), obtenemos finalmente la probabilidad de error para MRC de dos canales de desvanecimiento de Rayleigh con SNR medias $\bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2$ diferentes como:

10

$$P_e^{(2)} \leq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sqrt{2b}}{2(\bar{\gamma}_1 - \bar{\gamma}_2)} \left(\bar{\gamma}_1 \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_1}{1 + \bar{\gamma}_1}} - \bar{\gamma}_2 \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_2}{1 + \bar{\gamma}_2}} \right) \right) \quad (22)$$

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para transmisión de señales en una red de relés cooperativa inalámbrica, en el que la transmisión se realiza entre un origen, un destino y al menos un relé intercalado entre ambos, el o los relés funcionan como relés de decodificación-y-retransmisión, realizándose la transmisión en al menos dos fases y en el que el o los relés deciden, independientemente de la información relativa a otros componentes de la red, si una señal recibida del origen o de al menos otro relé se decodifica y se retransmite, caracterizado porque para la toma de decisión relativa a la decodificación y la retransmisión se utilizan códigos de detección de error de la señal enviada.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque las prestaciones de transmisión asignadas a las fases de la transmisión se utilizan como parámetros para optimizar la transmisión.
- 10 3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque como código de detección de error se utilizan códigos de comprobación de redundancia cíclica o códigos de comprobación de paridad de baja densidad.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 3, caracterizado porque el relé no retransmite la señal al destino cuando un error de decodificación es detectado mediante el código de detección de error.
- 15 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el origen transmite una señal solamente una vez al o a los relés y al destino.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque está diseñado para minimizar la tasa de error resultante.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el conocimiento de las pérdidas de atenuación entre el origen, el relé y el destino se utiliza para optimizar la transmisión.
- 20 8. Sistema para transmisión de señales en una red de relés cooperativa inalámbrica, que comprende al menos un origen, un destino y al menos un relé de decodificación-y-retransmisión intercalado entre ambos, caracterizado porque el relé comprende una unidad de decisión para la toma de decisión relativa a la decodificación y la retransmisión de una señal y porque la unidad de decisión comprende una unidad para detección de error mediante un código de detección de error.
- 25 9. Sistema según la reivindicación 8, caracterizado porque el destino comprende una unidad de combinación para combinar señales.
10. Sistema según la reivindicación 8 ó 9, caracterizado porque el destino comprende una unidad de memoria en la que se almacenan señales recibidas.
11. Sistema según la reivindicación 10, caracterizado porque el destino comprende una unidad de demodulación que puede acceder a señales almacenadas.
- 30 12. Sistema según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado porque el relé lo constituye un equipo terminal móvil.
13. Sistema según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado porque está diseñado para realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7.

35

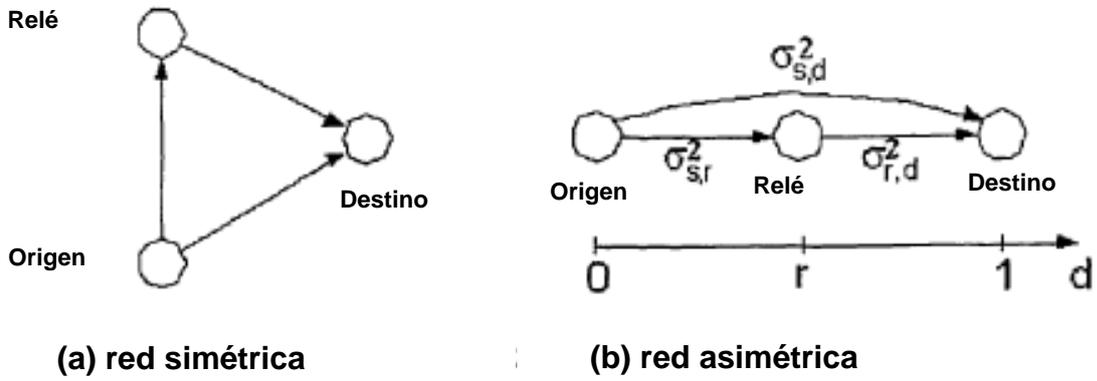


FIGURA 1

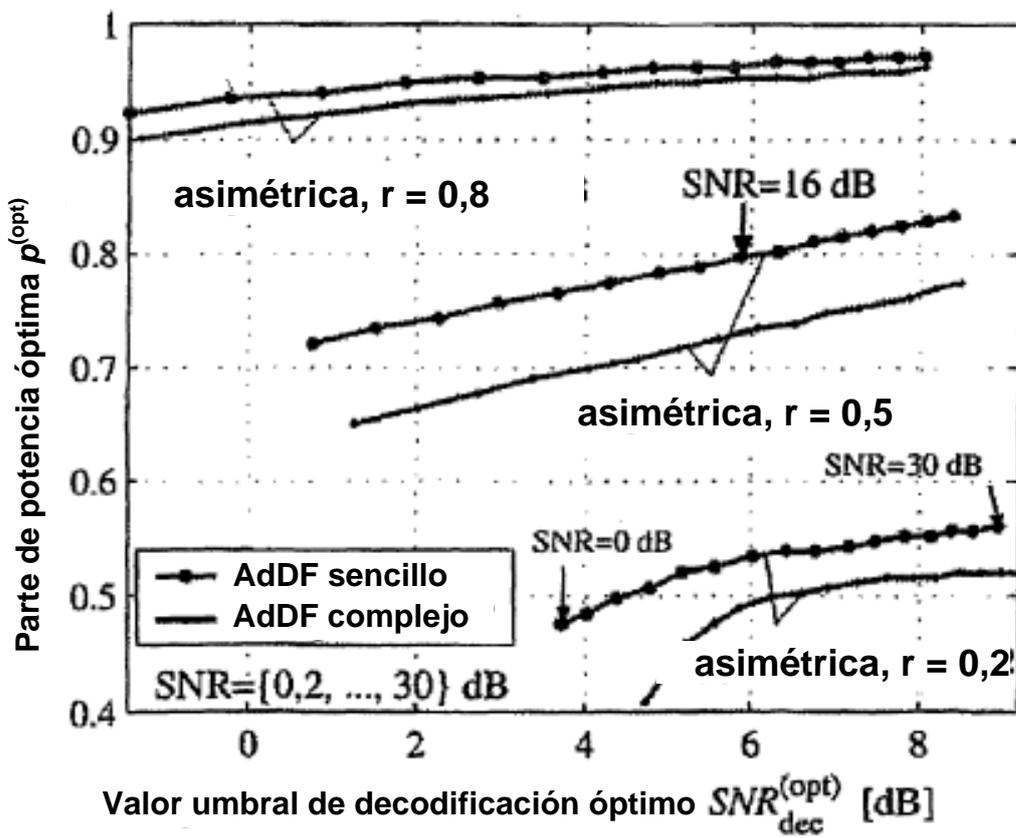


FIGURA 2

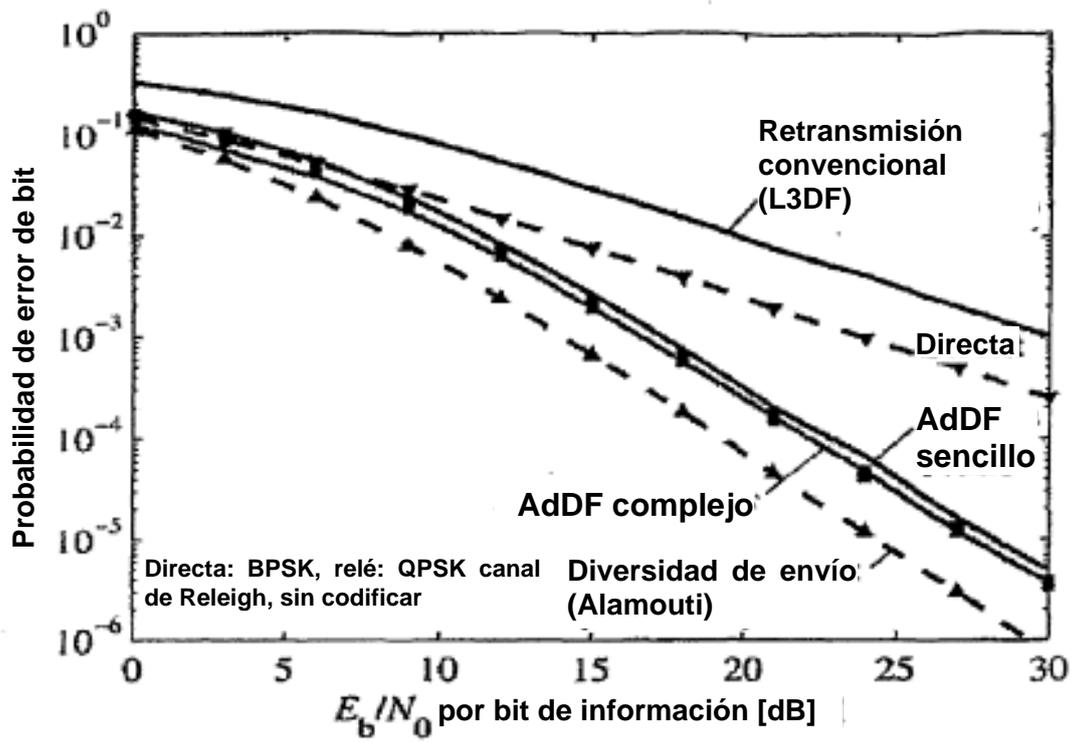


FIGURA 3

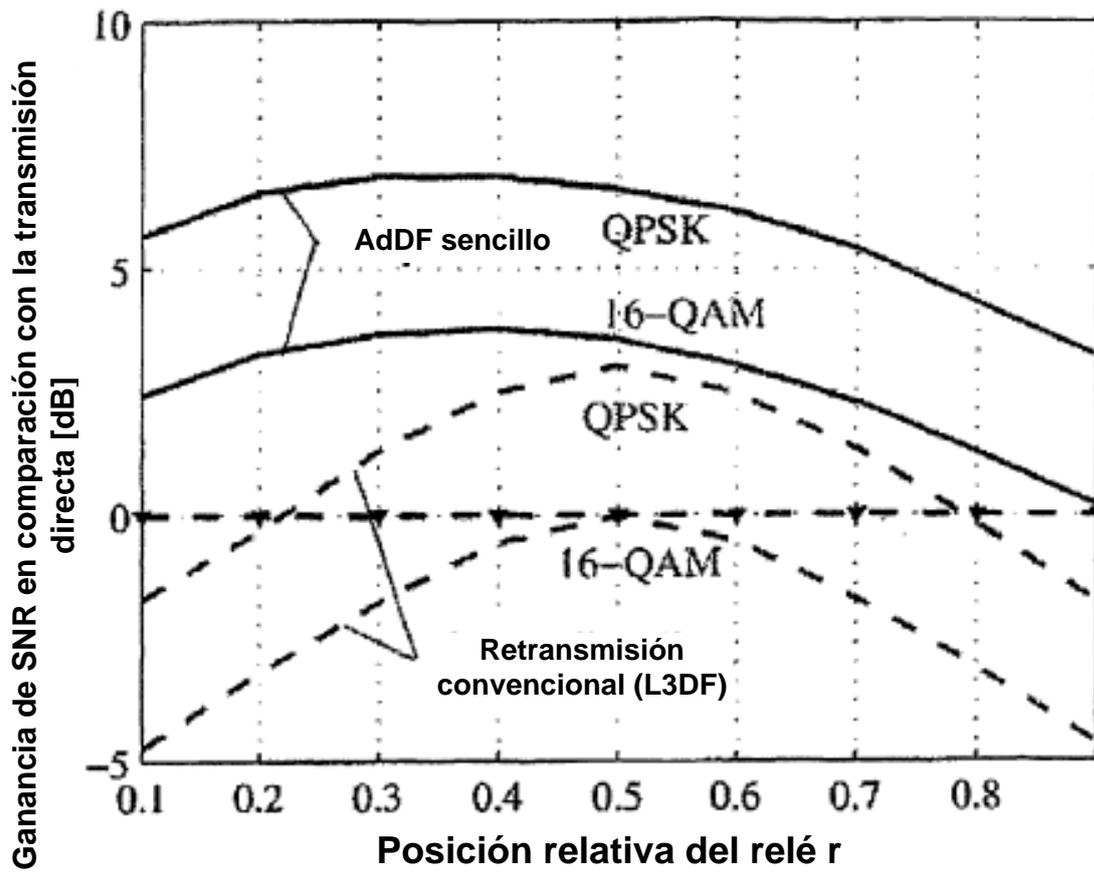


FIGURA 4

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

5

Bibliografía de patentes citada en la descripción

<ul style="list-style-type: none"> • J. N. LANEMAN ; D. N. C. TSE ; G. W. WORNELL. Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior. IEEE Trans. Inform. Theory, Januar 2002 [0004] • M. DOHLER ; A. GKELIAS ; H. AGHVAMI. 2-Hop Distributed MIMO Communication System. IEEE Electronics Letters, Juni 2003 [0004] • E. ZIMMERMANN ; P. HERHOLD ; G. FETTWEIS. On the Performance of Cooperative Diversity Protocols in Practical Wireless Systems. Proc. 58th Vehic. Techn. Conf., Oktober 2003 [0005] 	<ul style="list-style-type: none"> • A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications. S.M. ALAMOUTI. IEEE J. Select. Areas Comm. Oktober 1998, 1451-1458 [0041] • JOHN G. PROAKIS. Digital Communications. McGraw-Hill International Editions, 2002 [0044] [0057] [0067] [0089] • I.S. GRADSHTEYN ; I.M. RYZHIK. Table of Integrals, Series, and Products. Academic Press, 1994, 23 [0084]
---	---