



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 285 553**

51 Int. Cl.:
H04L 25/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04804263 .4**

86 Fecha de presentación : **23.12.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1700438**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **13.09.2006**

54 Título: **Método de calibración para conseguir la reciprocidad de canales de comunicación bidireccionales.**

30 Prioridad: **30.12.2003 SE 0303583**
30.06.2004 EP 04015304

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2007

73 Titular/es:
TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (publ)
126 25 Stockholm, SE

72 Inventor/es: **Larsson, Peter y**
Guey, Jiann-Ching

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

Método de calibración para conseguir la reciprocidad de canales de comunicación bidireccionales.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y una disposición para mejorar las características de comunicación en sistemas de comunicación inalámbricos. En particular, la presente invención se refiere a la reciprocidad de los canales de comunicación bidireccionales.

10 **Antecedentes de la invención**

La demanda de mayor capacidad de tráfico, cobertura y fiabilidad en los sistemas de comunicación inalámbricos parece estar creciendo siempre. Una estrangulación en la capacidad de tráfico es el limitado espectro de frecuencias disponible para los propósitos de comunicación, siendo la limitación a la vez física, pues solamente una parte del espectro de frecuencias es adecuado para la comunicación y el contenido de información para una frecuencia y unidad de tiempo es limitado, y orgánico, pues la parte útil del espectro se ha de usar para un cierto número de propósitos que incluyen: difusión de TV y radio, comunicación no pública tal como la comunicación de aviones y la comunicación militar, y los sistemas establecidos para la comunicación inalámbrica pública tales como GSM, redes (3G) de tercera generación, Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN), etc. El reciente desarrollo en el área de las técnicas de transmisión de radio para los sistemas de comunicación inalámbricos muestra resultados prometedores porque la capacidad de tráfico puede ser incrementada espectacularmente así como puede ofrecer una flexibilidad incrementada con respecto a un diferente manejo simultáneo y las necesidades de capacidad que fluctúan. Varias técnicas que prometen son Múltiple Entrada Múltiple Salida (MIMO), véase por ejemplo “Límites de la Capacidad de los Canales MIMO” de A. Goldsmith y otros, IEEE Journal sobre Áreas Seleccionadas de Comunicación, Vol. 21, Nº 5, Junio 2003, y combinación coherente basada en la retransmisión cooperativa, véase por ejemplo “Red de Retransmisión Cooperativa de Gran Escala con Combinación Coherente Óptima bajo Restricciones de Potencia de Retransmisión Agregadas”, de Peter Larsson, en Proc. de la Conferencia sobre la Telecomunicación Futura, Beijing, 9-10/12 2003. En comparación con las técnicas de transmisión usada actualmente tales como TDMA (como se usa en GSM) y WCDMA (como se usa en UMTS), la técnica puesta como ejemplo anteriormente representa una utilización mucho mejor del espectro de radiofrecuencias disponible. Como un ejemplo de las capacidades, y también de las necesidades existentes, las nuevas técnicas de transmisión, los sistemas inalámbricos MIMO, se describirán brevemente con referencia a la figura 1 (técnica anterior). Una descripción comprensiva de los principios básicos así como de los recientes desarrollos y áreas de investigación de MIMO se puede hallar en el artículo anteriormente citado de A. Goldsmith y otros.

Un enlace de radio en un sistema MIMO se caracteriza porque el extremo de transmisión y también el extremo de recepción están equipados con múltiples elementos de antena, como se ilustra en la Figura 1. La idea en que se basa MIMO es que las señales sobre las antenas de transmisión (TX) en un extremo y las antenas de recepción (RX) en el otro extremo se “combinan” de tal manera que la calidad (régimen de errores de bits, BER) o el régimen de datos (bits/sg) de la comunicación para cada usuario de MIMO será mejorado. Ese tipo de ventaja puede ser usada para incrementar tanto la calidad de servicio de la red como los ingresos del operador significativamente. Una idea básica en los sistemas MIMO es la señal de espacio-tiempo que se procesa en la cual el tiempo (la dimensión natural de los datos de comunicación digitales) es complementado con la dimensión espacial inherente en el uso de múltiples antenas distribuidas espacialmente. Una característica clave de los sistemas MIMO es la capacidad para transformar la propagación multitrayectoria, considerada tradicionalmente como un factor limitativo en la transmisión inalámbrica, en un beneficio para el usuario. MIMO aprovecha eficazmente la debilitación aleatoria y cuando está disponible, la extensión del retardo multitrayectoria, para multiplicar regímenes de transferencia. Esquemas también tales como el esquema de Diversidad de Transmisión con Realimentación Rica (TDRF) y la cooperación basada en la combinación coherente ofrecen un incremento espectacular en la capacidad y/o calidad, como se describe en “Capacidad para conseguir pares de transmisor y receptor para canales MISO dispersores”, de K. Zangi y L. Krasny, IEEE Transmisión Inalámbrica Común, Julio 2002 y en “Receptores de Complejidad Reducida y Óptima para Sistemas de Antena MISO”, de L. Krasny, S. Grant y K. Molnar, Proceeding IEEE Globecom 2003. La expectativa de mejoras significativas en las características de la comunicación inalámbrica, sin coste, de espectro extra, (solamente se añade hardware y complejidad) ha atraído naturalmente una extensa atención.

Los principios de transmisión de un sistema multiantena se describirán con referencia a la ilustración esquemática de la Figura 1. Una fuente digital comprimida en la forma de corriente 105 de datos binarios es alimentada a un bloque 110 de transmisión que comprende las funciones de codificación del control de errores y (posiblemente unido con) correlaciona los símbolos de modulación complejos manipulando el desplazamiento de fase cuaternario (QPSK), M-QAM, etc.). El último produce varias corrientes de símbolos separadas que varían de independientes a parcialmente redundantes o completamente redundantes. Cada una es entonces correlacionada sobre una de las múltiples antenas 115 de TX. La correlación puede incluir la ponderación espacial lineal de los elementos de antena o la codificación previa de espacio-tiempo de la antena lineal. Después de la conversión de frecuencia elevando esta, la filtración y amplificación, las señales son lanzadas dentro de un canal inalámbrico. Se usan antenas 115 NTX, y el bloque 110 de transmisión puede comprender típicamente medios para N transmisiones simultáneas. En el receptor, las señales son preferiblemente capturadas mediante múltiples antenas (M) 120 y las operaciones de desmodulación y desaplicación se realizan en el bloque 125 de recepción para recuperar el mensaje. Los niveles de inteligencia, complejidad y conocimiento de canal usados *a priori* en la selección de los algoritmos de correlación de la antena y codificación variarán

mucho dependiendo de la aplicación. Esta determina la clase y comportamiento de la solución de multiantena que se ejecuta.

Naturalmente, los sistemas multiantena ofrecen una ganancia diversa de transmisión y recepción, similar a la de los sistemas de antena inteligente existentes, pero también pueden ofrecer una fundamentalmente nueva ventaja en la exploración del tiempo y el espacio. Esto puede apreciarse a medida que los sistemas multiantena transmiten datos sobre un canal de matrices en vez de sobre un canal de vectores. El modelo de señal de este tipo de sistema multiantena puede ser descrito de modo simplificado como:

$$r = Hs + n \quad (1)$$

en donde r es el vector de señales recibido $M \times 1$, s es el vector de señales transmitido $N \times 1$ y n es un vector de términos de ruido aditivo, por ejemplo de ruido Gaussiano blanco, y H es la matriz de canal $M \times N$ para las señales transmitidas entre el transmisor y el receptor.

La sola multiplexión, como se ha mencionado anteriormente, no es suficiente para conseguir un incremento espectacular en la ganancia. Los esquemas de codificación/descodificación y correlación avanzados, es decir la codificación de espacio y tiempo es esencial. Un conocimiento del canal de radio es necesario para la descodificación ya en los sistemas inalámbricos existentes hoy día tales como GSM y UMTS, y en los sistemas multiantena este conocimiento es absolutamente crítico. En algunas de las propuestas de ejecución más prometedoras para MIMO, el conocimiento del canal, representado por H , se usa no solamente en la descodificación realizada en el lado de receptor, sino también en la codificación sobre el lado del transmisor como se describe en el documento "De la Teoría a la práctica: Una vista General de los Sistemas Inalámbricos Codificados en Tiempo y Espacio MIMO", de D. Gesbert y otros, Vol. 21, N° 3, Abril 2003 y en la publicación WIPO n° WO 03005606.

El conocimiento de las características de la matriz H de canal en el transmisor puede ser usado para optimizar la codificación y correlación. No solamente los sistemas MIMO explotan información de estado de canal (CSI) precisa, sino también para la retransmisión cooperativa basada en la combinación coherente y TDRF que usa inherentemente el conocimiento CSI para optimizar las características de comunicación respectivas. Un canal hacia delante puede típicamente estar caracterizado ya sea por el sonido del canal en la dirección hacia delante con alguna señal de entrenamiento y luego recibir la realimentación de la otra estación informando sobre las características de canal, o recibiendo una señal de entrenamiento procedente de la otra estación y adquiriendo el conocimiento de la potencia de transmisión. La primera alternativa puede proporcionar una buena estimación de las características de canal, pero al mismo tiempo que efectúa la transmisión de las características de H ocupa valiosos recursos de transmisión. Por lo tanto, un compromiso entre el incremento en la ganancia y el incremento en la señalización de control sobre la señalización de la carga de pago se considera típicamente, por ejemplo, para determinar la frecuencia de actualización adecuada para las características de H . La última alternativa usa menos recursos de transmisión, pero se basa en la suposición de que el canal es recíproco, es decir, que la amplitud y la fase son idénticas independientemente de la dirección de transmisión. Este es por ejemplo el caso en un canal TDD (Multiplexión por División de Tiempo) dentro del tiempo de coherencia de los canales. Esto es particularmente cierto y de interés, cuando se usan múltiples antenas en una primera estación y se usan menos, o solamente una antena, en la otra estación, pues también el número de secuencias de formación puede ser disminuido. Esto es también de gran interés para la combinación coherente basada en la retransmisión cooperativa, pues potencialmente un gran número de relés (posiblemente equipados con solamente una o unas pocas antenas) son explotados al mismo tiempo que comunican con un usuario con solamente una o unas pocas antenas.

Sumario de la invención

La suposición de reciprocidad, como se ha examinado en los documentos referenciados, se acepta y usa generalmente para estimar eficazmente el canal. No obstante, en situaciones reales, dadas por ejemplo cadenas de transmisor-receptor imperfectas, la reciprocidad puede no mantenerse. Por tanto, existe una necesidad evidente de lograr una estimación adecuada del canal, por ejemplo, caracterizada por la matriz H de canal, en la que la estimación caracteriza la cadena de transmisor-aire-interfaz-receptor completa.

El documento WO 99/57820 describe un método para calibrar principalmente las partes de transmisión y recepción de una estación de base para conseguir la reciprocidad en la comunicación de enlace ascendente y descendente. Asimismo la electrónica en las partes de transmisión y recepción de una unidad de abonado pueden ser tenida en cuenta para efectuar calibraciones de la estación base por pares de unidades de abonados. El método según el documento WO 99/57820 comprende la transmisión de unas descargas de calibración desde la estación base a una unidad de abonado y desde la unidad de abonado a la estación base, determinando "la estimación de identificación aguas abajo" y/o "valoraciones de la identificación aguas abajo" basadas en la descarga o descargas de calibración enviando la "estimación de la identificación aguas abajo" a la estación base, que usa la estimación(es) de la identificación para calibrar su cadena de transmisión-recepción para conseguir reciprocidad.

El objeto de la presente invención es proporcionar un método, nodos de radio, un sistema y programas que superen los inconvenientes de las técnicas anteriores. Esto se logra mediante un método como se define en la reivindicación 1, el sistema como se define en la reivindicación 21, el nodo de radio como se define en la reivindicación 22 y el producto de programa como se define en la reivindicación 18.

ES 2 285 553 T3

El método según la invención proporciona un método de calibración de al menos un primer nodo de radio en una red de comunicación inalámbrica. La red de comunicación comprende al menos un primer nodo de radio y un segundo nodo de radio que pueden estar dispuestos para estar en comunicación de radio uno con otro. El método de calibración está basado en que al menos una representación de las características de canal de radio ha sido intercambiada de un
5 nodo de radio al otro.

Una realización de la invención comprende las operaciones de:

- transmitir símbolos de estimación, o pilotos, de canal desde al menos el segundo nodo de radio al primer nodo de
10 radio sobre un canal de radio;

- calcular al menos una representación de las características del canal de radio en al menos el segundo nodo de radio;

- intercambiar al menos una representación de las características de canal de radio de uno de los nodos de radio al
15 otro nodo de radio;

- compensar las transmisiones de radio desde el primer nodo de radio con al menos un factor de corrección que esté al menos parcialmente basado en la representación intercambiada de las características de canal de radio.
20

El método puede además, corresponder a una realización más que comprende una operación de:

- estimar errores de transmisión en el segundo nodo de radio, basados en las señales piloto recibidas en la forma primera y segunda, y calcular un vector de corrección con términos de corrección para la antena respectiva del primer
25 nodo de radio. Opcionalmente, el primer nodo de radio usa pilotos dedicados que han sido modificados para facilitar la estimación de errores en el segundo nodo de radio.

El sistema de comunicación según la presente invención comprende al menos un primer nodo de radio y un segundo nodo de radio capaces de transmitir y recibir señales de radio y los primero y segundo nodos de radio pueden estar
30 dispuestos para estar en comunicación de radio uno con otro. El al menos primer nodo de radio se calibra con la ayuda del segundo nodo de radio, en donde el primer nodo de radio basa la calibración sobre al menos una representación de las características del canal de radio que han sido intercambiadas desde el segundo nodo de radio.

El nodo de radio según la presente invención está destinado a la comunicación inalámbrica en una red inalámbrica.
35 La red comprende al menos un segundo nodo de radio y el primer nodo de radio y el segundo nodo de radio son capaces de transmitir y recibir señales de radio y pueden estar dispuestos para la comunicación de radio de uno con otro. El primer nodo de radio se calibra con el segundo nodo de radio, en donde el primer nodo de radio basa la calibración sobre al menos una representación de características de canal de radio, que han sido intercambiadas desde el segundo nodo.
40

Según una realización de la invención el nodo de radio comprende medios de iniciación de la calibración para identificar una necesidad de calibrar un nodo de radio, medios de estimación de canal para producir estimaciones de canal de radio a partir de señales de radio recibidas por el primer nodo de radio, e intercambiar medios para intercambiar representaciones de las estimaciones de canal de radio o términos/vectores de corrección en otros nodos
45 de radio. Los medios de estimación de canal y los medios de intercambio están preferiblemente en comunicación con el receptor, y con medios de cálculo para calcular un vector/término de corrección o una representación de una estimación de canal de radio, basada en la estimación de canal de radio recibida proporcionada desde los medios intercambiadores y/o la estimación de canal determinada internamente desde los medios de estimación de canal. El nodo de radio comprende además, medios de transmisión piloto para controlar la transmisión de los símbolos de estimación de canal, o pilotos, a otros nodos de radio, y medios de compensación para compensar transmisiones de radio desde
50 el nodo de radio con uno, o un conjunto de, factor(es) de corrección. Los medios de transmisión y los medios de compensación están preferiblemente en comunicación con el transmisor, que también está en comunicación con los medios de intercambio. Los medios de compensación están además en comunicación con los medios de cálculo.

Gracias a la invención las inexactitudes y diferencias en las cadenas de transmisión recepción pueden ser compensadas, por lo que se logra la reciprocidad entre los dos nodos de radio. La calibración puede ser usada también en la comunicación con otros nodos de radio y la reciprocidad es mantenida también en estas comunicaciones.
55

Una ventaja aportada por la presente invención es que, puesto que la reciprocidad se garantiza, pueden ser usados
60 los métodos para optimizar la codificación y correlación en el transmisor que requieren una estimación de canal segura.

Los métodos descritos tienen la ventaja adicional de que pueden ser usados para la calibración relativa entre estaciones que no pueden comunicarse o no se comunican. Un ejemplo típico es una combinación coherente basada en la retransmisión cooperativa.
65

Realizaciones de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes. Otros objetos, ventajas, y nuevas características de la invención resultarán evidentes a partir de la descripción detallada siguiente de la invención cuando es considerada en combinación con los dibujos y las reivindicaciones que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describe a continuación detalladamente con referencia a las figuras de los dibujos, en las que:

la Figura 1 es una vista esquemática de un sistema multiantena (técnica anterior);

la Figura 2a es una vista esquemática de dos nodos de radio según la invención aplicados en comunicación; y la Figura 2b es una ilustración esquemática de módulos funcionales en un nodo de radio según la invención;

la Figura 3 es un gráfico de secuencia de mensajes que ilustra el método según la presente invención;

la Figura 4 es un gráfico de secuencia de mensajes que ilustra el método según una primera realización de la presente invención;

la Figura 5 es un gráfico de secuencia de mensajes que ilustra el método según una segunda realización de la presente invención;

la Figura 6 es un gráfico de secuencia de mensajes que ilustra el método según una tercera realización de la presente invención;

la Figura 7 es un gráfico de secuencia de mensajes que ilustra el método según una cuarta realización de la presente invención;

la Figura 8 es una vista esquemática del sistema inalámbrico en el que diversas entidades usan el método de calibración según la presente invención; y

la Figura 9 es una ilustración esquemática de transmisiones entre dos entidades que usan el método según la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Dos nodos en una red de comunicación inalámbrica, la estación A 210 y la estación B 220, que están en comunicación simultánea una con otra, se ilustran esquemáticamente en la Figura 2. La estación A 210 comprende un transmisor 212 y un receptor 214. La estación B 220 comprende un transmisor 222 y un receptor 224. El transmisor 212 de la estación A 210 y el receptor 224 de la estación B 220 constituyen una primera cadena de transmisor receptor, y el transmisor 222 de la estación B 220 y el receptor 214 de la estación 210 la segunda. Como se ha descrito previamente la transmisión puede estar caracterizada por la matriz H , de canal pero como se muestra aquí en la Figura 2, esta degenera en un canal de valor complejo escalar. El extremo para el canal extremo para una cadena de transmisor-receptor puede ser descrito como compuesto de esencialmente tres partes que se refieren al transmisor, la interfaz de aire y el receptor. Las partes que se refieren al transmisor y el receptor serán denominadas canales internos. Esta solución tiene en cuenta que la señal es afectada no solamente en la interfaz de aire, sino también en todas las partes de la cadena de transmisor-receptor tales como en el transmisor/receptor y alimentadores de antena, etc. El canal (en el dominio de frecuencia y por consiguiente generalmente con una dependencia con respecto a la frecuencia) de la estación A a la B, representada en el ejemplo en la Figura 2, puede ser descrito como

$$H_{A \rightarrow B} = H_{A, TX} \cdot H_{CH} \cdot H_{B, RX} \quad (2)$$

y el canal de B hacia A es:

$$H_{B \rightarrow A} = H_{B, TX} \cdot H_{CH} \cdot H_{A, RX} \quad (3)$$

en donde $H_{A, TX}$ caracteriza el transmisor 212 de la estación A 210, $H_{B, TX}$ caracteriza el transmisor 222 de la estación B 220, $H_{A, RX}$ es la matriz de canal que caracteriza el receptor 214 de la estación A 210 y $H_{B, RX}$ caracteriza el receptor 224 de la estación B 220. H_{CH} caracteriza el canal de propagación de radio. Los términos que se refieren a los transmisores y receptores $H_{A, TX}$, $H_{A, RX}$ y $H_{B, RX}$ no están limitadas al efecto sobre la señal dentro del transmisor o receptor real, ellos deben comprender preferiblemente una caracterización de todos los efectos de canal esenciales dentro de la respectiva estación. Los canales se caracterizan aquí con matrices, lo cual es importante si se usa cualquier clase de comunicación MIMO. En particular, las cadenas de transmisión-recepción están caracterizadas como matrices diagonales, ya que H_{CH} es una matriz completa. No obstante, la observación de que no solamente la interfaz de aire sino también el efecto de las partes de transmisión/recepción en el canal es válido también en otros casos tales como los sistemas MISO, SIMO y SISO, para los cuales las matrices en el lado de antena se reducen a un escalar. Esta es una propiedad fundamental de un medio isótropo, tal como el canal de radio, que este exhiba reciprocidad, reflejada porque H_{CH} es el mismo en ambas direcciones. No obstante, puesto que $H_{A, TX}$ no se puede suponer igual a $H_{B, TX}$ y $H_{A, RX}$ no se puede suponer igual a $H_{B, RX}$, debido a diferencias inevitables en los componentes, el canal de la estación A 210 a la estación B 220, $H_{A \rightarrow B}$,

no se puede suponer que sea igual al canal de la estación B 220 a la estación A, $H_{B \rightarrow A}$. Con otras palabras $H_{A \rightarrow B} \neq H_{B \rightarrow A}$ es generalmente válido y los canales no son recíprocos. Incluso si el equipo se calibra en un momento en que los canales internos $H_{A, TX} = H_{B, TX}$ y $H_{A, RX} = H_{B, RX}$ están desplazados, la temperatura, la humedad, y el envejecimiento de los componentes, por ejemplo, se originarán que los canales no sean recíprocos.

En el método según la presente invención se introduce la calibración externa de los transmisores y posiblemente también de los receptores. Esto es posible porque los canales $H_{A, TX}$, $H_{B, TX}$, $H_{A, RX}$ y $H_{B, RX}$ son estacionarios durante largo plazo y los cambios son básicamente debidos a la temperatura, desplazamiento, humedad, etc. Estos cambios se producen típicamente durante periodos de tiempo tales como horas, días o en los más rápidos, minutos, y pueden ser considerados como muy lentos en comparación con otras características dependientes del tiempo en el sistema tales como cambios en la interfaz de aire, cambios en el control de la potencia y velocidad de comunicación, por ejemplo. La calibración según la invención puede tener lugar sobre una base regular o como una respuesta de una señal de una entidad de control tras, por ejemplo, una degradación detectada en las características de la comunicación (tal como en el rendimiento total) o la detección mediante otros medios. La comunicación entre casos de calibración es afectada solamente en el sentido de que los factores de calibración se incluyen en cada transmisión.

El nodo 210 de radio descrito con referencia a la Figura 2a está de acuerdo con la presente invención destinado a utilizar el método según la invención. Un nodo de radio que puede ser calibrado y participar en la calibración de otro nodo, que es una realización preferida, se representa esquemáticamente en la Figura 2b. Los módulos descritos más adelante deben ser considerados típicamente como módulos funcionales definidos de software en las partes de tratamiento digital del nodo de radio, es decir, no necesariamente entidades físicas. El nodo de radio comprende preferiblemente un módulo 222 de iniciación de la calibración para identificar una necesidad de calibración del nodo de radio, un módulo 224 de estimación de canal para producir estimaciones del canal de radio de señales de radio recibidas por el primer nodo de radio, e intercambiar el módulo 232 para el intercambio de representaciones de las estimaciones del canal de radio o la corrección de términos/vectores para otros nodos de radio. El módulo 224 de estimación de canal y el módulo 232 de intercambio están preferiblemente en comunicación con el receptor 214, y con el módulo 226 de cálculo para calcular un vector/término de corrección o una representación de una estimación de canal de radio, basada en una estimación de canal de radio recibida proporcionada desde el módulo 232 de intercambio y/o la estimación de canal determinada internamente proporcionada desde el módulo 224 de estimación de canal. El nodo de radio comprende además el módulo 228 de transmisión de pilotos para transmitir símbolos de estimación de canal, o pilotos, a los otros nodos de radio, y que compensa el módulo 234 para compensar las transmisiones de radio desde el nodo de radio con uno, o un conjunto de, factor o factores de corrección. El módulo 228 de transmisión y el módulo 234 de compensación están preferiblemente en comunicación con el transmisor 212, que también está en comunicación con el módulo 232 de intercambio. El módulo 234 de compensación está además en comunicación con el módulo 226 de cálculo. La funcionalidad proporcionada por los módulos descritos anteriormente puede ser conseguida mediante una pluralidad de diferentes ejecuciones, de las cuales la anterior es un ejemplo no limitativo.

Las operaciones del método según la presente invención, que ofrecen un método de calibración externa de una estación se describirán con referencia al gráfico de secuencia de mensajes de la Figura 3 y la ilustración esquemática de las Figuras 2a y 2b. En el sistema a modo de ejemplo representado en la Figura 2 solamente se proporciona un transmisor y un receptor en cada estación. El resultado de las operaciones es una calibración del transmisor de la estación A. Este es un ejemplo no limitativo y el método de la invención no se limita a este caso, por el contrario, como se indica en la sección de antecedentes, para poder usar la suposición de reciprocidad es de gran importancia que el sistema sea multiantena, y el método puede extenderse fácilmente a tales sistemas. El método de calibración comprende las operaciones de:

300: inicia el procedimiento de calibración

El procedimiento de calibración puede ser iniciado en intervalos de tiempo predeterminados, en el que un intervalo de tiempo predeterminado adecuado puede estar basado en la experiencia y suposiciones, por ejemplo, sobre el clima. Alternativamente, el procedimiento de calibración puede ser iniciado a petición, por ejemplo, de una entidad de control del sistema, que ha registrado alguna medida de degradación de la comunicación de uno o más nodos, por ejemplo un BER medio muy alto o un cambio en el BER medio. La calibración puede ser disparada también basándose en cambios climáticos, tales como de la temperatura en los alrededores o por cambios de temperatura del equipo de comunicación. Además, el transmisor tiene también conocimiento de la historia de transmisión (tiempo y duración de la transmisión), potencia de transmisión usada así como transmisión futura potencial y puede usar este conocimiento para disparar cualquier calibración. Además, pueden ser detectados errores de calibración (tales como desviaciones de fase) en el receptor para cada antena de transmisión, y cuando exceden un umbral predeterminado de desviación se inicia un evento de calibración. La necesidad de calibración se reconoce típicamente en el módulo 222 de iniciación de la calibración del nodo de radio, pero puede ser detectada exteriormente al nodo de radio, y el nodo de radio informado, mediante medios adecuados de una calibración requerida.

305: Transmite símbolos, P, de estimación de canal.

Símbolos de estimación de canal, es decir, símbolos conocidos por ambos el transmisor y el receptor, por ejemplo, en la forma de una señal piloto, son transmitidos desde la estación B 220 a la estación A 210, y/o desde la estación A 210 a la estación B 220. Muchos sistemas tienen un canal piloto común que existe que puede ser usado para el propósito de calibración. El módulo 228 de transmisión de pilotos controla la transmisión de pilotos.

310: Estimación de canal.

Calcula una estimación $\hat{H}$ de canal a partir del resultado de la transmisión de P, cuya estimación $\hat{H}$ de canal comprende la cadena de transmisor-aire-interfaz-receptor completa. $\hat{H}_{A \rightarrow B}$, estima el canal para una señal procedente de la estación A 210 para la estación B 220, y/o $\hat{H}_{B \rightarrow A}$, la estimación de canal de la estación B 220 a la estación 210, puede preferiblemente ser calculada. El módulo 224 de la estimación de canal del nodo de radio realiza las estimaciones.

315: Intercambio de información entre estaciones.

Las estaciones intercambian información extraída de las estimaciones $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ y/o $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ para facilitar un cálculo de un factor de corrección que se ha de usar para la transmisión por la estación A. Preferiblemente, la estación de recepción (estación B 220) envía una representación de la estimación $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ de canal a la estación A 210, o alternativamente la estación B 220 envía una representación de un factor de corrección. Las representaciones se envían preferiblemente en una forma compacta, para no ocupar más recursos de transmisión que los necesarios. El módulo 232 de intercambio prepara y controla el intercambio de información con relación a los canales de radio entre diferentes nodos.

320: Calcula factor de corrección de canal.

Un factor de corrección de canal, que tenga en cuenta el intercambio de información sobre las estimaciones de canal, se calcula en el módulo 226 de cálculo.

325: Compensa la transmisión con el factor de corrección de canal.

La estación A 210 compensa cada transmisión a B con el factor de corrección de canal, dando un canal eficaz $H_{A \rightarrow B}^{(off)}$. Puesto que el canal mantiene la reciprocidad, $H_{A \rightarrow B}^{(off)} = H_{B \rightarrow A}$, con la transmisión compensada, la estación A 210 puede medir sobre pilotos (símbolos de estimación de canal) desde B para la estimación de $H_{B \rightarrow A}$ necesario para por ejemplo mejorar la codificación y la correlación. El factor de corrección de canal se usa al menos hasta que un nuevo procedimiento de calibración se ha iniciado. La compensación puede verse como un ajuste del transmisor 212 controlado por el módulo 234 de compensación.

El procedimiento de calibración ha sido ejemplificado con una calibración del transmisor en la estación A para proporcionar condiciones recíprocas para la comunicación a y desde la estación B. Naturalmente, el procedimiento de calibración puede ser usado para calibrar la estación B. El procedimiento de calibración descrito anteriormente se puede extender a sistemas multiantena (multi TX y/o RX). Esto se examinará mejor en la descripción que sigue de diferentes realizaciones de la invención. Se ha supuesto además que características no lineales, por ejemplo, debidas a un funcionamiento del amplificador de potencia no lineal, pueden despreciarse.

El procedimiento de calibración descrito anteriormente puede ser adaptado fácilmente a diferentes realizaciones de redes inalámbricas. Tales adaptaciones serán ejemplificadas con diferentes realizaciones de la invención.

En una primera realización del método según la presente invención, descrita con referencia a la Figura 4, los símbolos de estimación de canal son enviados desde la estación A 210 a la estación B 220 y desde la estación B a la estación A. Por lo tanto pueden producirse estimaciones en ambas direcciones, $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ y $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ (que corresponden a la operación 310).

Después de la estimación de canal las estaciones intercambian sus datos de estimación de canal, por ejemplo, la estación B envía $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ a la estación A (operación 315). Basado en $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ ya disponible en la estación A y el $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ recibido se puede determinar un factor de corrección de canal (operación 320) según:

$$H_{Corr} = \frac{\hat{H}_{B \rightarrow A}}{\hat{H}_{A \rightarrow B}} = \frac{\hat{H}_{B, TX} \cdot \hat{H}_{CH} \cdot \hat{H}_{A, RX}}{\hat{H}_{A, TX} \cdot \hat{H}_{CH} \cdot \hat{H}_{B, RX}} = \frac{\hat{H}_{B, TX} \cdot \hat{H}_{A, RX}}{\hat{H}_{A, TX} \cdot \hat{H}_{B, RX}} \quad (4)$$

Una señal S, que ha de ser transmitida de A a B, es multiplicada previamente por H_{Corr} resultando la señal recibida (Opn 325):

$$R = H_{A \rightarrow B} \cdot H_{Corr} \cdot S + N \quad (5)$$

donde N es ruido recibido. Se ve que el canal eficaz está modificado dentro del canal inverso según:

$$H_{A \rightarrow B}^{(off)} = H_{A \rightarrow B} \cdot H_{Corr} = H_{A, TX} \cdot H_{CH} \cdot H_{B, RX} \cdot \frac{\hat{H}_{B, TX} \cdot \hat{H}_{A, RX}}{\hat{H}_{A, TX} \cdot \hat{H}_{B, RX}} \approx \quad (6)$$

$$\approx H_{B, TX} \cdot H_{CH} \cdot H_{A, RX} = H_{B \rightarrow A}$$

Por consiguiente como $H_{A \rightarrow B}^{(off)} = H_{B \rightarrow A}$ los canales son ahora recíprocos, es posible usar la estimación del canal en dirección de B a A, realizar cualquier operación sobre la señal que ha de ser transmitida basada en $H_{B \rightarrow A}$ y enviar esta sobre el canal eficaz $H_{A \rightarrow B}^{(off)}$ de A a B.

La realización de la invención comprende preferiblemente, como se ilustra en el gráfico de secuencia de mensajes de la Figura 4, las operaciones de:

405 (correspondiente a la operación 305): Transmitir símbolos, P, de estimación de canal.

Se transmiten señales de piloto desde la estación B 220 a la estación A 210, y desde la estación A 210 a la estación B 220.

410 (310): Estimación de canal.

$\hat{H}_{A \rightarrow B}$ se calcula en la estación B 220 y $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ se calcula en la estación A 210.

415 (315): Intercambio de información entre estaciones.

La estación B 220 envía una representación de la estimación $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ de canal a la estación A 210, preferiblemente en una forma compacta. Una representación compacta puede ser usada a medida que las características del canal se conocen, por ejemplo, desde $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ y solamente parte de la estimación, por ejemplo, las desviaciones significativas necesitan ser transmitidas.

420 (320): Calcula el factor de corrección de canal.

La estación A 210 calcula el factor H_{Corr} de corrección según la ecuación (4).

425 (325): Compensa la transmisión con el factor de corrección de canal.

La estación A 210 compensa cada transmisión a B con el factor H_{Corr} de corrección de canal proporcionando un canal eficaz $H_{A \rightarrow B}^{(off)}$, que garantiza, como se muestra en la ecuación (6), la reciprocidad.

La realización puede ser extendida a MIMO realizando el mismo procedimiento para cada una de las combinaciones de elementos de antena. Con las antenas MTX y NRX, el número total de calibraciones es M veces N.

En una segunda realización del método de la invención, descrita con referencia al sistema de señalización de la Figura 5, los símbolos de estimación, o piloto, son transmitidos en una dirección solamente. En esta realización, la estación A 210 realiza primero una estimación de canal de bucle abierto recibiendo un símbolo de entrenamiento de la estación B. Basada en el canal estimado la forma de transmisión posterior de A a B es premultiplicada con la inversa de la estimación de canal. Basada en esto, la estación B puede comunicar un factor de corrección a la estación A. El factor de corrección se usa para cada unidad de transmisión hasta la siguiente calibración por ejemplo. Este es en esencia un esquema denominado de fuerza cero que origina que sea asignada una potencia proporcionalmente mayor a las frecuencias (suponiendo un canal selectivo de frecuencias y, por ejemplo, OFDM) con alta atenuación. Posiblemente, se pueda evitar la utilización de frecuencias de alta atenuación.

El factor de corrección realimentado puede preferiblemente estar en la forma de un polinomio complejo de bajo orden (posiblemente con funciones exponenciales para cualquiera de los retardos) y por tanto solamente unos pocos factores de ponderación son realimentados. El retardo, la fase y la diferencia de amplitud serán generalmente de pequeña magnitud y funciones que se comportan bien, siendo por lo tanto generalmente suficiente usar un bajo orden polinómico. Otros métodos de compresión del factor de corrección pueden ser también usados, como apreciarán los expertos en la técnica.

Como una alternativa las transmisiones de A a B son premultiplicadas con el complejo conjugado de $\hat{H}_{B \rightarrow A}$. Esta alternativa no experimenta el problema con las altas frecuencias de atenuación como para el método de fuerza cero. El receptor, es decir la estación B, debe tener sin embargo en cuenta que la señal recibida, aparte de de los errores de fase y amplitud, ha de ser calibrada, atenuada con $|H_{CH}|^2$ cuando sea determinado el factor de corrección que es realimentado a la estación A. No obstante, lo más importante es la realimentación de los errores de fase, pues

ES 2 285 553 T3

la ganancia de amplitud de las cadenas receptoras de la transmisión generalmente no varía tanto como la ganancia $|H_{CH}|$.

La segunda realización de la invención comprende preferiblemente, como se ilustra en el gráfico de secuencia de mensajes de la Figura 5, las operaciones de:

505 (correspondiente a la operación 305): Transmite símbolos, P de estimación de canal.

Se transmiten solamente señales piloto desde la estación B 220 a la estación A 210.

510(310): Estimación de canal.

$\hat{H}_{B \rightarrow A}$ es estimado en la estación A 210.

511: Calcula el factor de corrección preliminar.

Un factor de corrección preliminar, h_{AB} , se calcula en base a $\hat{H}_{B \rightarrow A}$, preferiblemente el inverso de la estimación de canal.

$\hat{H}_{B \rightarrow A}^{-1}$ o su conjugado complejo $\hat{H}_{B \rightarrow A}^*$.

512: Compensa transmisiones.

Las transmisiones desde la estación A a la estación B son compensadas multiplicando la señal por el factor h_{AB} de corrección preliminar.

513: Estima errores.

La estación B 220 estima los errores de fase y amplitud en la transmisión compensada con el factor de corrección preliminar. A partir de las estimaciones la estación B calcula un término h_{Coff} corrección para el $\hat{H}_{B \rightarrow A}^{-1}$, el factor de corrección es simplemente el canal eficaz conjugado complejo cuando $\hat{H}_{B \rightarrow A}^{-1}$ está concatenado con $H_{B \rightarrow A}$. Para el caso $\hat{H}_{B \rightarrow A}^*$ el complejo conjugado del error de fase puede por ejemplo ser señalado de nuevo, asumiendo por consiguiente que desviaciones de magnitud insignificante se producen debidas a las cadenas de receptor de transmisión.

515 (315): Intercambia información entre estaciones.

La estación B220 envía el término h_{Coff} de corrección a la estación A 210, preferiblemente en una forma compacta.

520 (320): Calcula el factor de corrección de canal.

La estación A 210 calcula un factor, H_{Coff} , de corrección final basado en el factor h_{AB} de corrección preliminar y el término h_{Coff} de corrección.

525 (325): Compensa la transmisión con factor de corrección de canal.

La estación A 210 compensa cada transmisión a B con el factor H_{Coff} de corrección de canal final proporcionando un canal eficaz que garantiza la reciprocidad.

En una tercera realización del método de la presente invención, descrita con referencias al esquema de señalización de la Figura 6, se usan símbolos de estimación especial (o canal piloto) en adición al canal piloto común existente, para estimar un vector de corrección.

En un escenario MIMO, por ejemplo, en el que la estación A tiene n_A antenas y la estación B tiene n_B antenas, las respuestas de frecuencia de las cadenas transceptoras pueden ser representadas por matrices diagonales con elementos que correspondan a la respuesta entre el procesador de banda de base y una particular antena. Por ejemplo, $H_{A,TX}$ es una matriz diagonal de n_A por n_A y la respuesta de canal es ahora una matriz de n_B por n_A como se ve mediante la estación B.

Siguiendo el ejemplo de la estación A de calibración a través de la estación B, similar a las dos primeras realizaciones, los canales de la estación A a la estación B pueden ser estimados por la estación B a través de una señal conocida (un vector de columna de dominio de la frecuencia de dimensión n_A) denominado en general canal piloto común y designado aquí P_c . La señal recibida en la estación B correspondiente a este piloto es dada por:

$$R_d = H_{B,RX} \cdot H_{CH} \cdot H_{A,TX} \cdot P_c \quad (7)$$

y desde la cual, la respuesta $\hat{H}_{A \rightarrow B} = H_{B, Rx} H_{CH} H_{A, TX}$ puede ser estimada. La estación A puede derivar similarmente $H_{B \rightarrow A}^T = H_{B, TX}^T H_{CH}^T H_{A, RX}$. Entonces transmite desde cada antena una señal piloto especial premultiplicada, designada colectivamente por un vector de columna

$$P_S \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot 1_{nB} \quad (8)$$

en el que P_S es una matriz diagonal $n_A \times n_A$ que contiene n_A señales piloto individuales con buenas propiedades de correlación cruzada y autocorrelación y 1_{nB} es un vector de columna de todos unos de dimensión n_B . La señal recibida correspondiente a esta señal piloto especial es dada entonces por

$$R_S = H_{B, Rx} \cdot H_{CH} \cdot H_{A, TX} \cdot P_S \cdot H_{A, RX}^H \cdot H_{CH}^H \cdot H_{B, TX}^H \cdot 1_{nB}, \quad (9)$$

Por simplicidad, se puede suponer que $n_B = 1$ (las dos estaciones pueden acordar usar solamente una antena en B para calibrar A), entonces la señal recibida en la ecuación anterior puede ser escrita como

$$R_S = H_{B, Rx} \cdot H_{B, TX}^H \cdot \sum_{j=1}^{n_A} H_{A, TX}(j, j) \cdot H_{A, RX}^H(j, j) \cdot P_S(j, j) \cdot |H_{CH}(1, f)|^2 \quad (10)$$

Puesto que la respuesta de frecuencia de la cadena de transceptores contiene solamente retardo, rotación de fase y quizás una pequeña variación de amplitud, $H_{B, RX}$ y $H_{A, TX}$ en la Ecuación (7) tienen ambos una amplitud unidad. Por lo tanto, $|H_{CH}| = |H_{A \rightarrow B}|$ es conocido por la señal P_C de piloto común y el término de corrección $H_{A, TX}(j, j) \cdot H_{A, RX}^H(j, j)$ para cada antena en la estación A puede ser estimado correlacionando la señal recibida R_S con la señal $P_S(j, j)$ piloto correspondiente. Después de recibir esta información de corrección de la estación B, la estación A puede entonces ajustar las cadenas de transmisión y recepción de modo que $H_{A, TX}(j, j) \cdot H_{A, RX}^H(j, j)$ son iguales para cualquier valor de j . Esto garantiza que los canales son recíprocos entre las antenas en la estación B y el procesador de la banda de base en la estación A. Hay que tener en cuenta que las respuestas de los transceptores en la estación B son irrelevantes para el propósito de adicionar coherentemente las señales que llegan a las antenas puesto que pueden ser estimadas y eliminadas antes de la desmodulación.

La tercera realización de la invención comprende preferiblemente, como se ilustran en el gráfico de secuencia de mensajes de la Figura 6, las operaciones de:

605 (correspondiente a la operación 305): Transmisión de símbolos P de estimación de canal.

Los símbolos de estimación de canal conocidos, preferiblemente el canal P_C piloto común existente, son transmitidos desde la estación B 220 a la estación A 210 y desde la estación A 210 a la estación B 220.

610 (310): Estimación de canal.

$\hat{H}_{B \rightarrow A}$ se estima en la estación A 210, y $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ en la estación B 220 según lo expuesto.

611: Transmisión especial del canal P_S piloto.

La estación A transmite desde cada antena una señal piloto especial premultiplicada, $P_S \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot 1_{nB}$.

612: Estima errores.

La estación B 220 estima los errores de retardo, fase y amplitud para cada una de las antenas de la estación A, basada en los P_C y $P_S \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot 1_{nB}$ recibidos. Un vector de corrección que comprende términos de corrección para cada antena en la estación A se calcula.

615 (315): Intercambio de información entre estaciones.

La estación B 220 envía el vector de corrección a la estación 210.

629 (320): Calcula el factor de corrección de canal.

La estación A 210 calcula los factores de corrección de canal para cada antena.

625 (325): Compensa la transmisión con el factor de corrección de canal.

La estación A 210 compensa cada transmisión a B con los factores de corrección de canal garantizando reciprocidad.

ES 2 285 553 T3

Una cuarta realización de la invención, descrita con referencia al esquema de señalización de la Figura 7, se refiere a los casos de SVD (Descomposición Singular de Valores) basada en MIMO o TDRF, y utiliza un canal piloto dedicado en combinación con el canal piloto común existente. El lado de transmisión (estación A 210 por ejemplo) realiza la prefiltración conjugada de modo que las señales se suman coherentemente cuando llegan a las antenas del lado de recepción (estación B 220). La señal recibida en la estación B es dada por $H_{A \rightarrow B} \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot S$, donde S es un vector de columna de una dimensión n_B que contiene los símbolos de datos. La función de prefiltración es el conjugado completo del canal de la estación B a A y puede ser estimada por el canal de piloto común enviado por la estación B.

En general, símbolos conocidos son multiplexados con símbolos de datos de modo que la respuesta de canal efectiva puede ser estimada para una desmodulación coherente. Estos símbolos conocidos son denominados algunas veces canal piloto dedicado y aquí designados P_d . En combinación con el canal P_c piloto común, el canal piloto dedicado será usado para derivar el vector de corrección como se mostrará más adelante.

En la estación B, la señal recibida correspondiente al canal piloto dedicado es dada por:

$$R_s = H_{A \rightarrow B} \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot P_d \quad (11)$$

Puesto que $H_{A \rightarrow B}$ se obtiene del piloto común P_c , $H_{B \rightarrow A}^*$ puede ser estimado a partir de R_s . Por lo tanto:

$$H_{A \rightarrow B} = H_{B, Rx} \cdot H_{CH} \cdot H_{A, TX} \quad (12)$$

$$H_{B \rightarrow A} = H_{A, Rx} \cdot H_{CH}^H \cdot H_{B, TX}^H$$

son ambos conocidos en la estación B y el vector de conexión puede ser generado y comunicado de nuevo a la estación A como en las realizaciones anteriores.

La cuarta realización de la invención comprende preferiblemente, como se ilustra en la secuencia de mensajes del gráfico de la Figura 7, las operaciones de:

705 (correspondiente a la operación 305): Transmite símbolos, P , de estimación de canal.

Conoce los símbolos de estimación de canal, preferiblemente del canal P_c piloto común existente que son transmitidos desde la estación B 220 a la estación A 210 y desde la estación A 210 a la estación B 220.

710 (310): Estimación de canal.

$H_{B \rightarrow A}$ es estimado en la estación A 210, y $H_{A \rightarrow B}$ en la estación B 220 del canal piloto.

711: Calcula el prefiltro.

La estación A 210 calcula el prefiltro $H_{B \rightarrow A}^*$.

712: Transmite el canal P_d piloto dedicado.

La estación A transmite el canal P_d piloto dedicado multiplicado por $H_{B \rightarrow A}^*$, que en la estación B es recibido como $R_s = H_{A \rightarrow B} \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot P_d$.

713: Estima el vector de corrección.

$H_{B \rightarrow A}^*$ y $H_{A \rightarrow B}$ son ahora conocidos por la estación B 220, y usados para estimar un vector de corrección.

715 (315): Intercambia información entre estaciones.

La estación B 220 envía el vector de corrección a la estación A 210.

720 (320): Calcula factor de corrección de canal.

La estación A 210 calcula los factores de corrección de canal para cada antena.

725 (325): Compensa la transmisión con el factor de corrección de canal.

La estación A 210 compensa cada transmisión a B con los factores de corrección de canal garantizando la reciprocidad.

El método de calibración según la invención puede ser utilizado, como se indica en las diferentes realizaciones, en diversos sistemas inalámbricos, así como entre diversas entidades (nodos) en los sistemas. La Figura 8 ilustra diversos ejemplos de nodos cuya calibración puede tener lugar entre ellos. La red 800 a modo de ejemplo comprende una pluralidad de estaciones 805 de base (de antena múltiple y antena única), estaciones 810 de retransmisión y estaciones 815 de móviles. La calibración puede, por ejemplo, tener lugar entre dos estaciones 810 de retransmisión (indicada mediante la flecha 820), entre dos estaciones 805 de base (flecha 825), entre una estación 810 de retransmisión y una estación 815 de móvil (flecha 830), entre una estación 805 de base y una estación 815 de móvil (flecha 835), y entre una estación 805 de base y una estación 810 de retransmisión (flecha 840). Otra combinación de nodos basada en la radio para los propósitos de calibración según la invención es también posible. Además, algunas estaciones pueden estar equipadas con antenas múltiples, mientras que otras tienen simplemente antenas únicas. La calibración debe realizarse de acuerdo con la configuración de antena concreta. La elección de con que nodo calibrarla puede ser dictada mediante la selección de reglas incorporadas en el sistema, por ejemplo, basadas en la calidad del enlace, el conocimiento de la exactitud de calibración ofrecida por algunas estaciones (esta puede, por ejemplo, diferir entre estaciones fijas y estaciones móviles), el número de antenas, etc.

Se debe tener en cuenta que aunque la calibración tiene lugar entre algún par de estaciones, las entidades calibradas pueden posteriormente comunicar con otras estaciones. Por ejemplo, en una combinación coherente basada en una retransmisión cooperativa, las estaciones de retransmisión pueden realizar la calibración con una estación de base próxima, y más adelante mientras comunican retransmitiendo señales recibidas sobre un enlace (por ejemplo, de una estación de base) a un segundo enlace (por ejemplo, con una estación móvil de recepción) la compensación según la invención y la compensación de fase deducidas de las estimaciones de canal (véase [ref]) se aplican de modo que permiten que las señales retransmitidas sobre diferentes retransmisores sean combinadas coherentemente en la entidad de recepción.

Una posible ejecución del método de calibración según la invención se ilustra en la Figura 9, en la que el sistema está en el modo TDD. El método de calibración descrito anteriormente puede preferiblemente ser puesto en práctica por dos estaciones que estén asignadas en ranuras de tiempo de transmisión/recepción opuestas. En un sistema celular, esto significa entre la estación de base y un terminal de usuario. No obstante, la calibración puede, como se ha expuesto anteriormente, tener lugar entre nodos que estén asignados a las mismas ranuras de tiempo de transmisión/recepción, por ejemplo, entre las estaciones de base. La Figura 9 ilustra un ejemplo de procedimiento de calibración en un sistema TDD entre dos estaciones base. Para no perturbar la operación en marcha, ninguna estación debe transmitir en una ranura de tiempo asignada originalmente para recibir. Por lo tanto, una estación de base puede conmutar a recepción durante una ranura programada originalmente para transmitir y medir los canales piloto desde otras estaciones base.

En la Figura 9 se ilustran las transmisiones entre la estación A y la estación B, en las que:

a) En una primera ranura TX_1 de tiempo de transmisión, la estación B transmite un piloto P_C , que es recibido por la estación A, la cual tiene el modo de recepción conmutado. La estación A estima $H_{B \rightarrow A}$.

b) En una segunda ranura TX_2 de tiempo de transmisión, la estación A transmite un piloto P_C , P_d o P_s que es recibido por la estación B, que está conmutada en el modo de recibir. La estación B estima $H_{A \rightarrow B}$ y posiblemente $H_{B \rightarrow A}$, y determina una representación de $H_{A \rightarrow B}$ o un vector/término de corrección.

c) En una tercera ranura TX_3 de tiempo de transmisión, la estación B, en modo regular de transmisión, transmite el vector de corrección a la estación A, que está conmutada en el modo de recepción. La estación A ajusta los transceptores consecuentemente.

La transmisión de calibración no necesita ser realizada en dos ranuras TX adyacentes, y el procedimiento de calibración puede implicar transmisiones adicionales que no se representan en la Figura 9.

La utilización del método de calibración según la invención es posible que compense las transmisiones de modo que los canales de comunicación entre dos nodos de radio en una red inalámbrica sean recíprocos. Las realizaciones presentadas ofrecen métodos para ejecutar el procedimiento de calibración de modos muy eficientes, garantizando que recursos de radio valiosos no se consumen en una señalización innecesaria. La reciprocidad conseguida mediante el procedimiento de calibración de la invención permite explotar completamente las ganancias de capacidad aportadas por características tales como la codificación de tiempo y espacio usada en los sistemas de comunicación de radio nuevamente desarrollados, por ejemplo, MIMO, TDRF y la combinación coherente basada en la retransmisión cooperativa.

El método según la presente invención se ejecuta preferiblemente por medio de productos de programa o productos de módulo de programa que comprenden los medios de códigos de software que realizan las operaciones del método. Los productos de programa se ejecutan preferiblemente sobre una pluralidad de nodos de radio dentro de una red. El programa se distribuye y carga desde un medio utilizable de ordenador, tal como un disquete, un CD, o transmitido por el aire, o descargado de Internet, por ejemplo.

Como se ha demostrado y ejemplificado en las diferentes realizaciones, la presente invención proporciona un método y nodos de radio que permiten usar la reciprocidad de canales, porque esta compensa las inexactitudes y diferencias en las cadenas de transmisión recepción.

ES 2 285 553 T3

Los métodos descritos tienen la ventaja adicional de que pueden ser usados para la calibración relativa entre estaciones que no pueden o no están comunicándose. Un ejemplo típico es la combinación coherente basada en la retransmisión operativa.

- 5 Aunque la invención ha sido descrita en relación con las que actualmente se consideran las realizaciones preferidas y que son más prácticas, se ha de tener en cuenta que la invención no se limita a las realizaciones descritas, y que por el contrario, está destinada a cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes como se definen mediante las reivindicaciones adjuntas.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un método de calibración de una parte de transmisión de un nodo en una red de comunicación inalámbrica, cuya red de comunicación comprende al menos un primer nodo de radio y un segundo nodo de radio que pueden estar dispuestos para la comunicación de uno con otro, y en el que al menos un nodo de radio recibe señales de múltiples antenas, comprendiendo dicho método de calibración las operaciones de:

- transmitir (605, 705) primeras señales piloto tanto desde el primer nodo de radio al segundo nodo de radio como desde el segundo nodo de radio al primer nodo de radio;

- determinar (610, 710) en el segundo nodo de radio una primera estimación de las características de canal desde el primer nodo de radio en el segundo nodo de radio, y determinar en el primer nodo de radio una segunda estimación de las características de canal del segundo nodo de radio en el primer nodo de radio, estando dicha determinación basada en respectivas primeras señales piloto recibidas;

- calcular al menos un factor de corrección de canal en el primer nodo de radio basado en las primera y segunda estimaciones de canal,

estando **caracterizado** el método de calibración por las operaciones de:

- transmitir (611, 711-712) una segunda señal piloto modificada desde el primer nodo de radio al segundo nodo de radio, estando basada dicha modificación en la segunda estimación de canal;

estimar errores (612, 713) de transmisión en el segundo nodo de radio, estando basada dicha estimación en la estimación del primer canal y la segunda señal piloto recibida y calcular un vector de corrección con términos de corrección para cada una de las antenas múltiples basado en los errores de transmisión;

- intercambiar (615, 715) el vector de corrección del segundo nodo de radio con el del primer nodo de radio; y

porque la operación de calcular factores (620, 720) comprende calcular un factor de corrección para cada antena, estando basados los factores de corrección al menos parcialmente en los términos de corrección respectivos en el vector de corrección, estando destinados dichos factores de corrección a ser usados en transmisiones del primer nodo de radio al segundo nodo de radio.

2. Método de calibración según la reivindicación 1, en el que el método de calibración se inicia en intervalos de tiempo predeterminados.

3. Método de calibración según la reivindicación 1, en el que el método de calibración se inicia como una respuesta de una medida de la calidad de comunicación que está por debajo de un valor de umbral predeterminado.

4. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la modificación de la segunda señal piloto comprende una multiplicación de una señal piloto con el complejo conjugado de la segunda estimación de canal.

5. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el vector de corrección es intercambiado en la forma de una representación compacta del vector de corrección.

6. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el primer nodo (A) de radio se proporciona con n_A antenas y el segundo nodo (B) de radio se proporciona con n_B antenas, y en el que al menos el primer nodo de radio tiene al menos dos antenas, en el que:

- en la primera operación (605) de transmisión las primeras señales, P_c , piloto son vectores de columna;

- en la operación (610) de determinación se calcula una primera estimación $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ de las características de canal desde el primer nodo de radio al segundo nodo de radio en el segundo nodo de radio, y se calcula una segunda estimación $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ de las características de canal desde el segundo nodo de radio al primer nodo de radio en el primer nodo de radio;

- en la segunda operación (611) de transmisión el segundo piloto P_s es premultiplicado según:

$$P_s \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot 1_{n_B}$$

el cual en el segundo nodo de radio será recibido como R_s y en el que $H_{B \rightarrow A}$ es el complejo conjugado de la segunda estimación P_s de canal es una matriz diagonal $n_A \times n_A$ que contiene n_A señales piloto individuales y 1_{n_B} es un vector de toda una columna de dimensión n_B .

- en la operación (612) de estimación el vector de corrección se calcula basándose en R_s y $H_{A \rightarrow B}$ y comprende términos de corrección de errores para cada una de las primeras antenas de nodo de radio; y

- en la operación (620) de cálculo los factores de corrección de canal para cada antena se calculan basándose en el vector de corrección.

7. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el primer nodo (A) de radio se proporciona con n_A antenas y el segundo nodo (B) de radio se proporciona con n_B antenas y en el que al menos el primer nodo de radio tiene al menos dos antenas, en el que la comunicación de radio está basada en la Descomposición de Valor Singular (SVD), y

- en la primera operación (705) de transmisión las primeras señales P_c piloto son vectores de columna;

- en la operación (610) de determinación una primera estimación $\hat{H}_{A \rightarrow B}$ de las características de canal del primer nodo de radio al segundo nodo de radio se calcula en el segundo nodo de radio, y una segunda estimación $\hat{H}_{B \rightarrow A}$ de canal de las características de canal del segundo nodo de radio al primer nodo de radio se calcula en el primer nodo de radio;

- en la segunda operación (611) de transmisión el segundo piloto P_d es multiplicado previamente con un filtro previo $H_{B \rightarrow A}^*$ que es el conjugado del complejo de la segunda estimación de canal, que como el segundo nodo de radio será recibido como:

$$R_S = H_{A \rightarrow B} \cdot H_{B \rightarrow A}^* \cdot P_d$$

- en la operación (713) de estimación el vector de corrección se calcula en el segundo nodo y está basado en $H_{B \rightarrow A}^*$ y $H_{A \rightarrow B}$, en la que $H_{A \rightarrow B}$ se estima a partir de la primera señal piloto y $H_{B \rightarrow A}^*$ se estima a partir de R_S , y

- en la operación (720) de cálculo los factores de corrección de canal para cada antena se calculan basándose en el vector de corrección.

8. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el vector de corrección comprende la representación de cualquiera de los errores de retardo, errores de fase o errores de amplitud, o de una combinación de estos errores.

9. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que una primera parte de la operación de transmitir los símbolos de estimación de canal se realiza en una primera ranura TX_1 de tiempo de transmisión, en la que el segundo nodo de radio transmite un piloto P_c que es recibido por el primer nodo de radio, que está en el modo de recepción; y

una segunda parte de la operación de transmitir símbolos de estimación de canal se realiza en una segunda ranura TX_2 tiempo de transmisión, en la que el primer nodo de radio transmite un piloto P_c , P_d o P_s que es recibido por el segundo nodo de radio, que está en el modo de recepción.

10. Método de calibración según la reivindicación 9, en el que la operación de intercambiar información entre nodos de radio se realiza en un tercer tiempo TX_3 de transmisión, en el que el segundo nodo de radio está en modo de transmisión regular y transmite información sobre el canal de radio al primer nodo de radio, que está en modo de recepción.

11. Método de calibración según la reivindicación 10, en el que el primer nodo de radio estima el canal de radio desde el segundo canal de radio en el primer nodo $H_{B \rightarrow A}$ en la primera ranura TX_1 de tiempo de transmisión.

12. Método de calibración según las reivindicaciones 10 u 11, en el que el segundo nodo de radio estima el canal de radio desde el primer canal de radio en el segundo nodo $H_{A \rightarrow B}$ de radio en la segunda ranura TX_2 de tiempo de transmisión.

13. Método de calibración según la reivindicación 12, en el que el segundo nodo de radio estima además un vector de corrección o término de corrección en la segunda ranura TX_2 de tiempo de transmisión.

14. Método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que la operación de calcular el factor o factores de corrección en el primer nodo de radio se realiza en la tercera ranura TX_3 de tiempo de transmisión.

15. Un sistema (800) de comunicación para comunicación inalámbrica, comprendiendo el sistema al menos un primer nodo de radio y un segundo nodo de radio que pueden estar dispuestos para comunicar uno con otro, estando **caracterizado** dicho sistema de comunicación porque al menos el primer nodo de radio se calibra con la ayuda del segundo nodo de radio mediante el uso del método de calibración según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14.

ES 2 285 553 T3

16. El sistema de comunicación según la reivindicación 15, en el que al menos uno de los nodos de radio del sistema utiliza una configuración multiantena destinada a la comunicación basada en MIMO.

17. Un nodo de radio destinado a la comunicación inalámbrica en una red inalámbrica (800), cuya red comprende al menos un nodo de radio más, comprendiendo el nodo de radio:

- un módulo (232) de intercambio destinado a recibir al menos una primera estimación de canal de radio desde al menos el nodo de radio más;

- un módulo (224) de estimación de canal destinado a producir una segunda estimación de canal de radio a partir de una señal de radio recibida por el nodo de radio;

- un módulo (226) de cálculo destinado a calcular un vector/término de corrección o una representación de unas estimaciones de canal de radio basadas en la primera estimación de canal de radio y la segunda estimación de canal de radio recibidas; y

- un módulo (234) de compensación para compensar las transmisiones de radio del nodo de radio con al menos un factor de corrección que está al menos parcialmente basado en la calibración calculada.

y está **caracterizado** por:

- un módulo (228) de transmisión piloto destinado a controlar la transmisión de la primera señal piloto y una segunda señal piloto, en el que la segunda señal piloto se modifica con la segunda estimación de canal de radio.

18. El nodo de radio según la reivindicación 17, en el que el nodo de radio comprende además medios para iniciar un procedimiento de calibración, estando destinados dichos medios de iniciación a iniciar un procedimiento de calibración a intervalos de tiempo predeterminados.

19. El nodo de radio según la reivindicación 17, en el que el nodo de radio comprende además medios para iniciar un procedimiento de calibración, estando destinados dichos medios de iniciación a iniciar el procedimiento de calibración como una respuesta a una medida de la calidad de comunicación que está por debajo de un valor de umbral predeterminado.

20. El nodo de radio según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, en el que el nodo de radio utiliza una configuración de multacadena.

21. El nodo de radio según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, en el que el nodo de radio es una estación (815) móvil.

22. El nodo de radio según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, en el que el nodo de radio es una estación (805) de base de radio.

23. El nodo de radio según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, en el que el nodo de radio es una estación (810) de retransmisión.

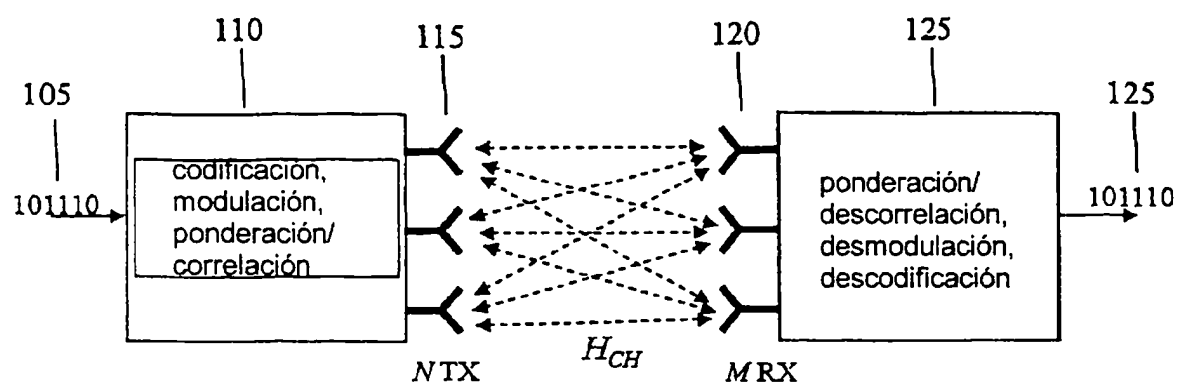


Fig. 1 (Técnica anterior)

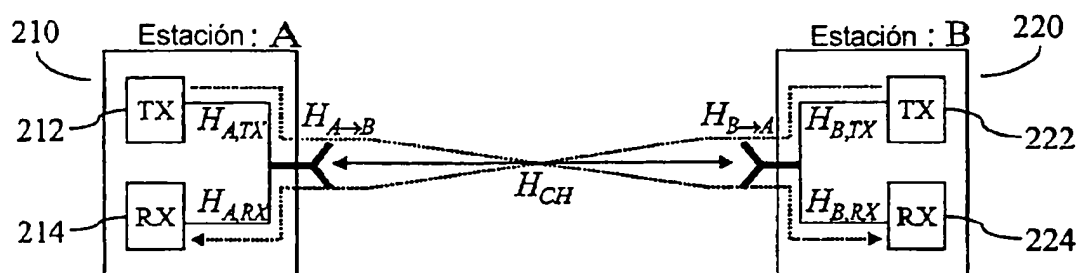


Fig. 2a

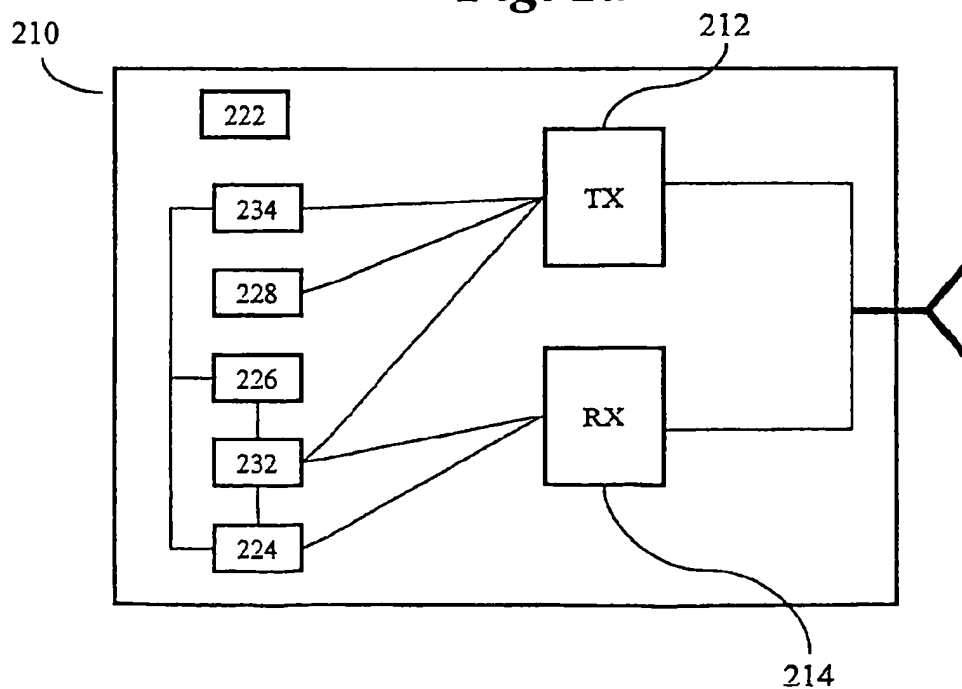


Fig. 2b

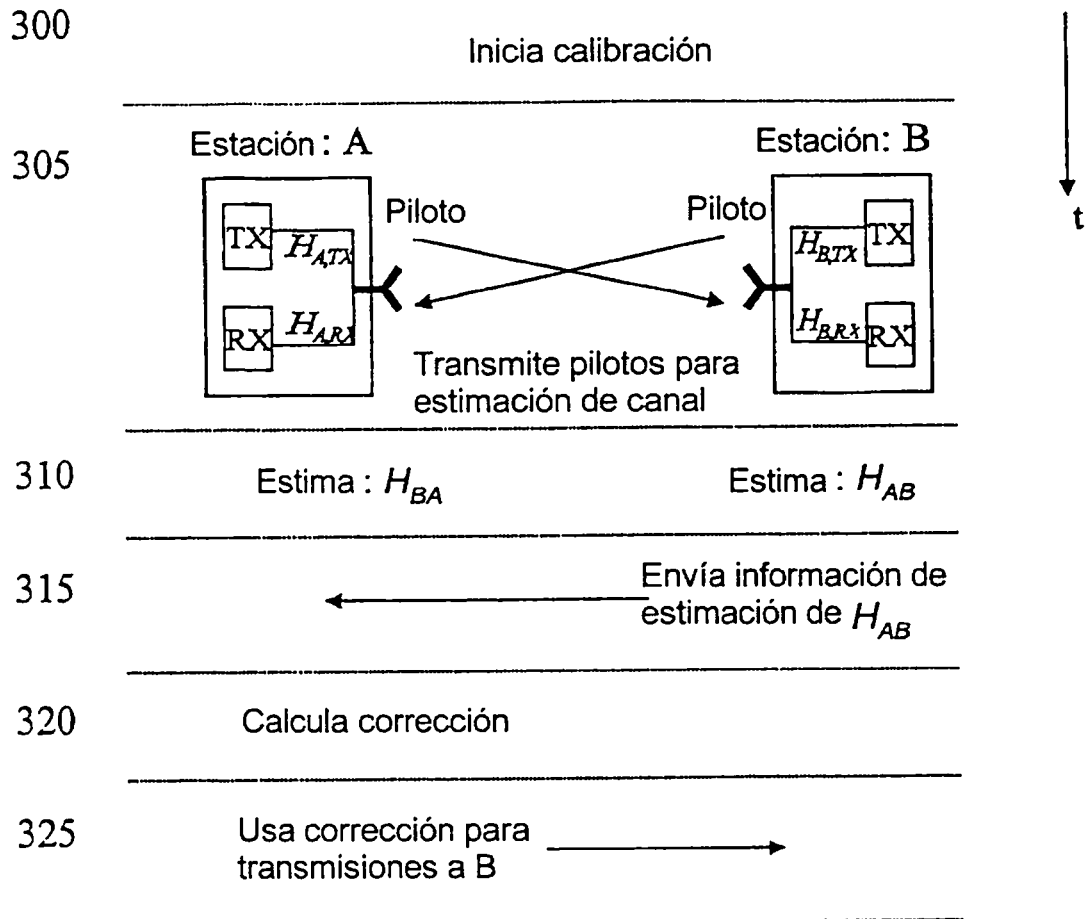


Fig. 3

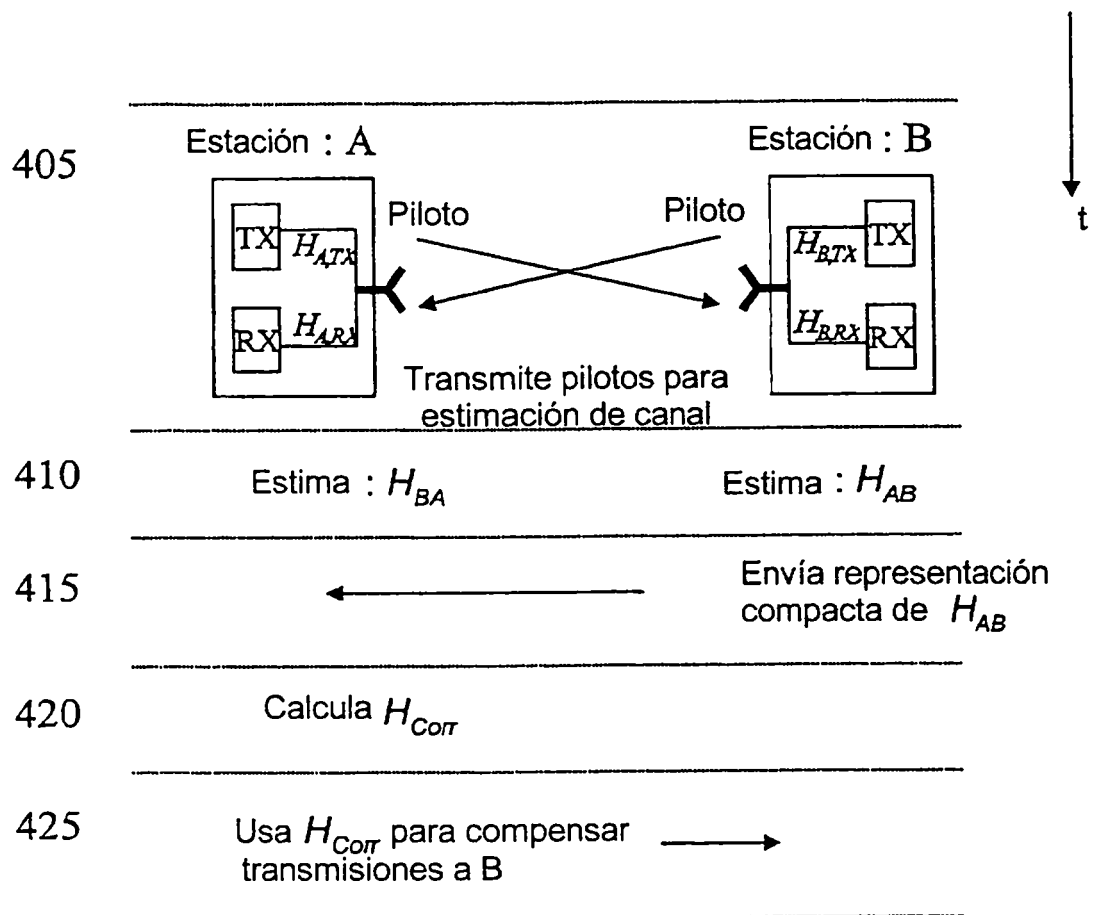


Fig. 4

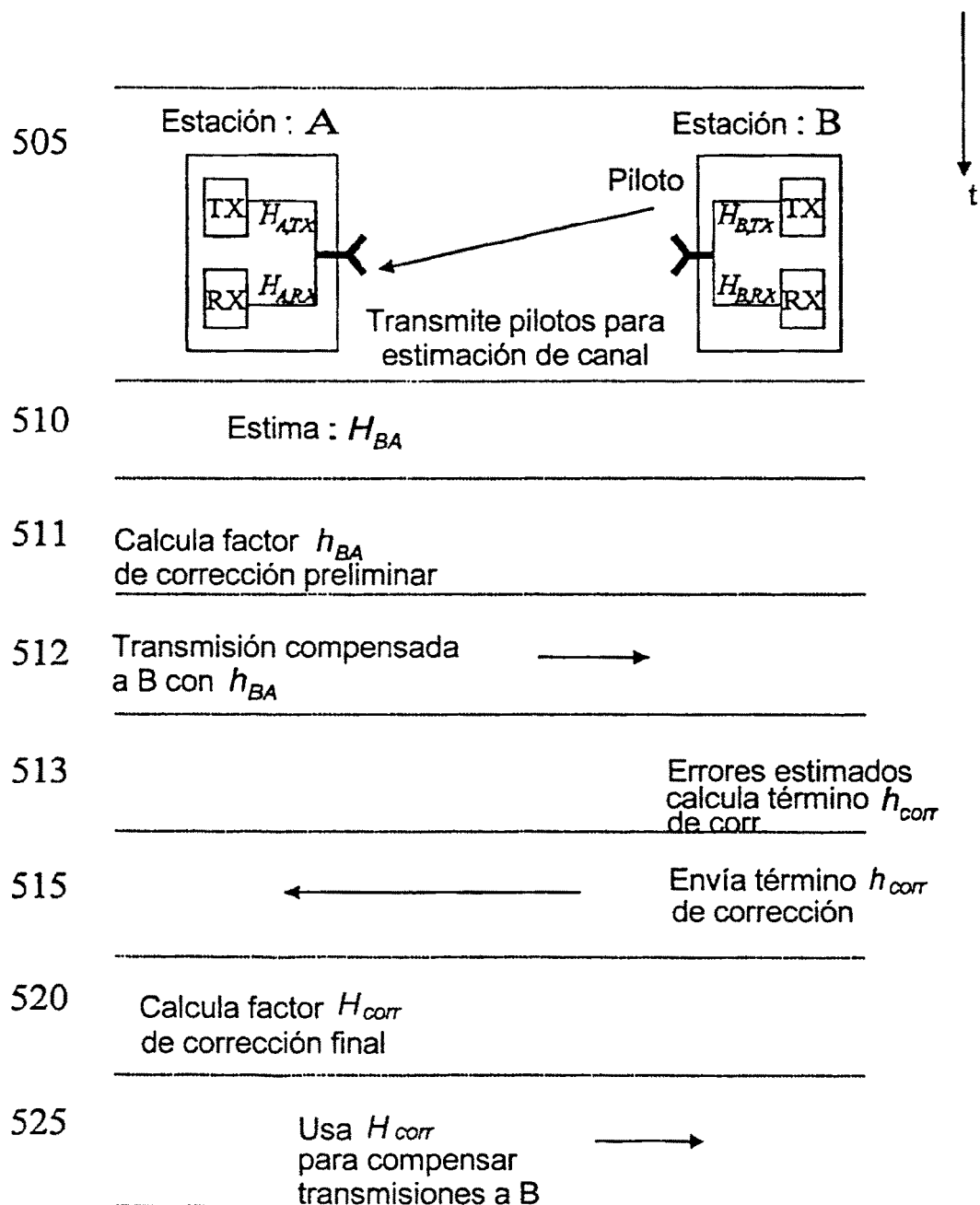


Fig. 5

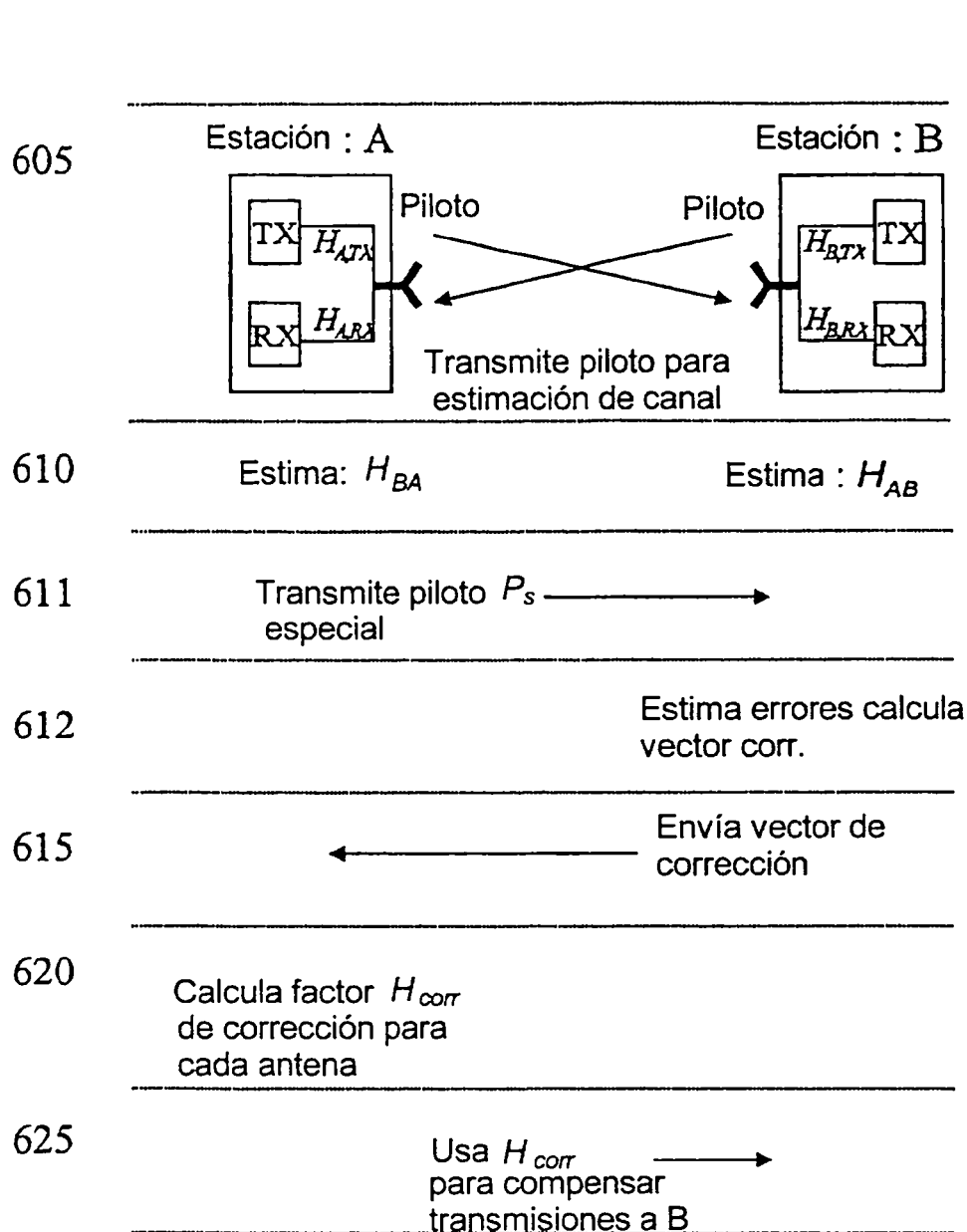


Fig. 6

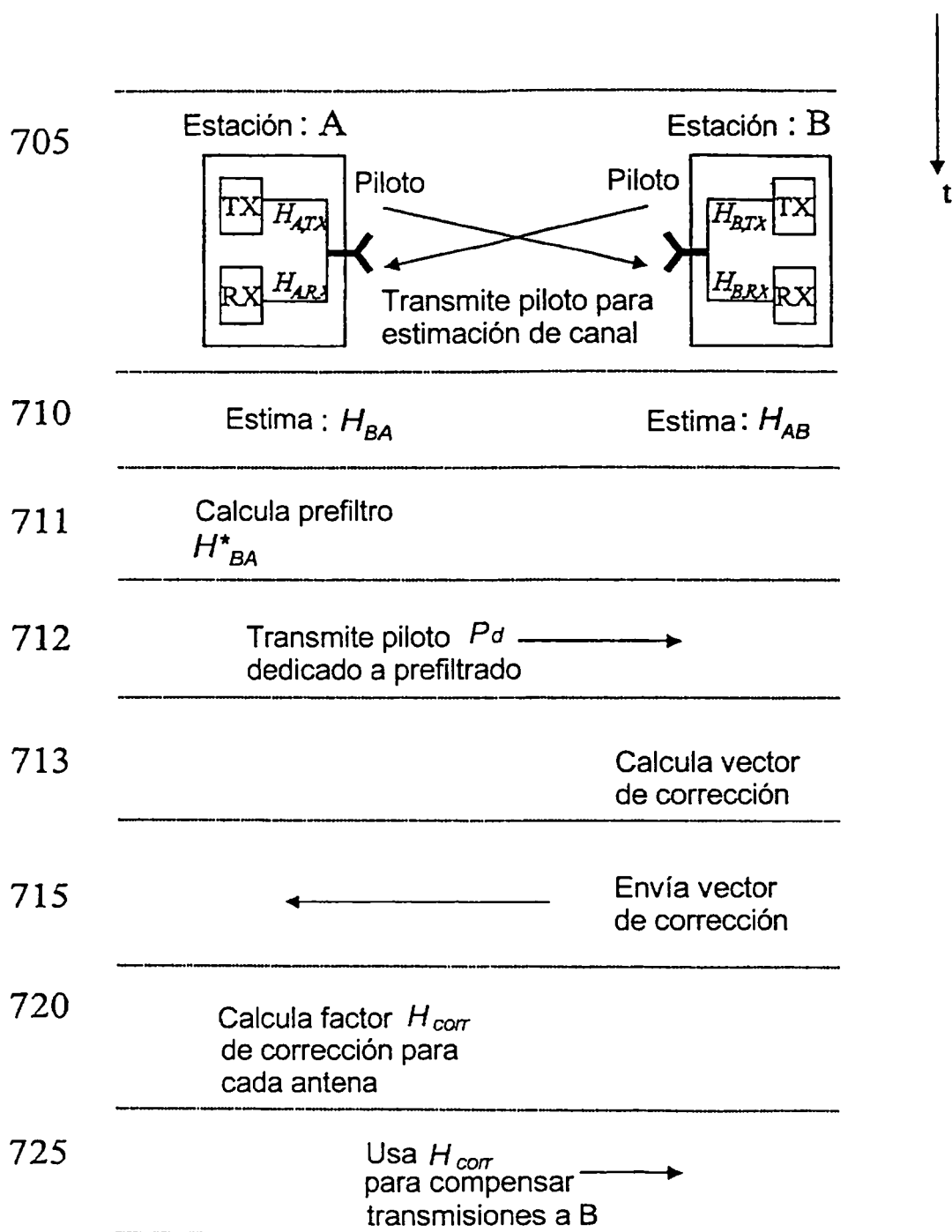


Fig. 7

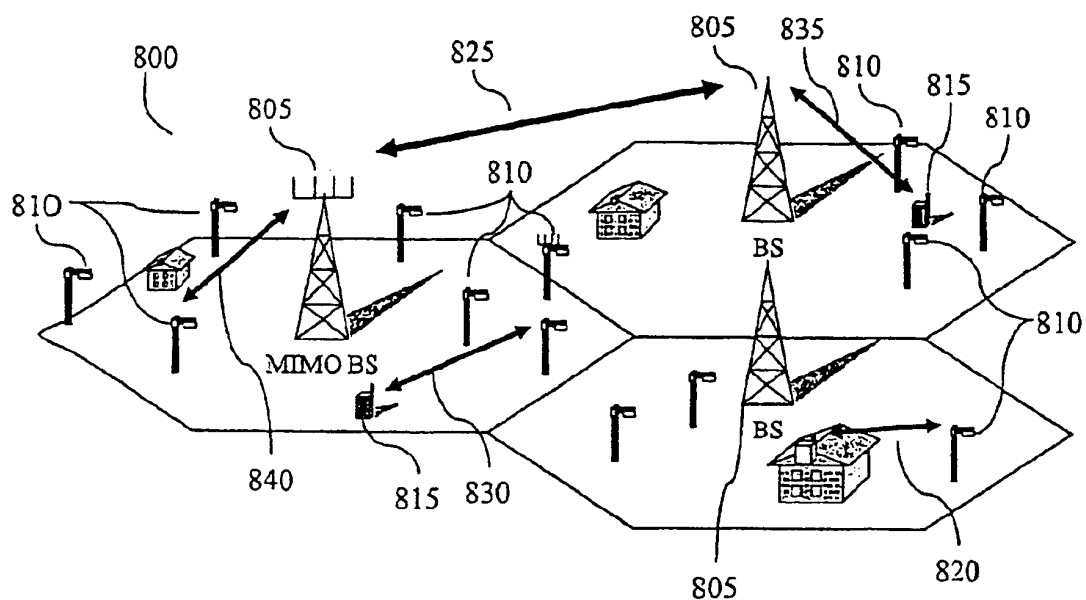


Fig. 8

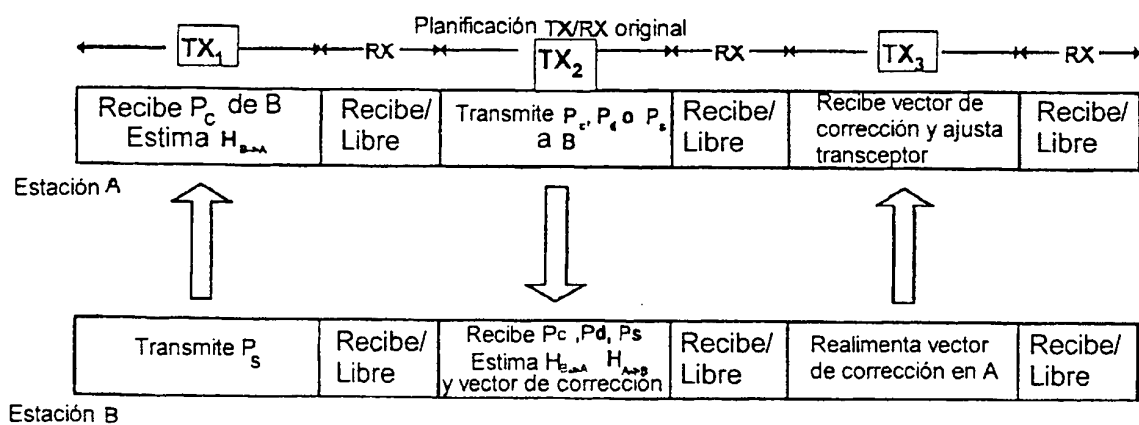


Fig. 9