

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 216**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/06** (2006.01)

**H04B 7/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **00928315 .1**

96 Fecha de presentación: **20.04.2000**

97 Número de publicación de la solicitud: **1183880**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.03.2002**

54 Título: **APARATO Y PROCEDIMIENTO PARA LA FORMACIÓN DE HACES EN UN ENTORNO DE INTERFERENCIAS VARIABLES.**

30 Prioridad:  
**07.06.1999 US 327776**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.02.2012**

73 Titular/es:  
**INTEL CORPORATION  
2200 MISSION COLLEGE BOULEVARD  
SANTA CLARA, CA 95052, US**

72 Inventor/es:  
**YOUSSEFMIR, Michael;  
TROTT, Mitchell, D.;  
KARUPPIAH, Kamarai y  
PETRUS, Paul**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 375 216 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

Aparato y procedimiento para la formación de haces en un entorno de interferencias variables

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas de comunicación inalámbrica, y más específicamente, a un aparato y procedimiento para mejorar la formación de las señales transmitidas y el procesamiento de las señales recibidas mediante la alteración de las características de conformación del haz de los elementos de la antena en una estación de comunicación receptora o transmisora que incluye una serie de elementos de antena para tener en cuenta un entorno de interferencia cambiante.

**Antecedentes**

10 El procesamiento de antenas inteligentes adaptativas se puede utilizar en una estación de comunicación (*por ejemplo*, una estación base) equipada con antenas múltiples para rechazar cualquier interferencia en la comunicación a partir de una unidad del abonado a la estación de comunicación (*es decir*, en el enlace ascendente) o para suministrar energía de una forma espacial o espacio-temporalmente selectivas en la comunicación desde la estación de comunicación a una unidad de abonado (*es decir*, en el enlace descendente). Los sistemas de  
15 comunicaciones de antena inteligente pueden usar el procesamiento espacial lineal, como parte del procesamiento de antena inteligente adaptativa de las señales recibidas durante las comunicaciones de enlace ascendente. En esta situación, se aplican ajustes de amplitud y fase, por lo general en banda base, para cada una de las señales recibidas en los elementos de la matriz de antena para seleccionar (*es decir*, preferentemente recibir) las señales de interés a la vez que reduce al mínimo cualquier señal o ruido no de interés (*es decir*, interferencia). Este ajuste de  
20 amplitud y fase puede ser descrito mediante una ponderación evaluada compleja, la *ponderación de recepción*, y las ponderaciones de recepción para todos los elementos de la matriz pueden ser descritas mediante un vector valorado complejo, el *vector de ponderación de recepción*.

Del mismo modo, la señal de enlace descendente transmitida desde la estación base a los receptores remotos puede estar formado por el ajuste, por lo general, pero no necesariamente en banda base, de la amplitud y la fase  
25 de las señales que se transmiten por cada una de las antenas de la matriz de antenas. Tal control de amplitud y fase puede ser descrito por una ponderación valorada compleja, la *ponderación de transmisión*, y las ponderaciones para todos los elementos de la matriz mediante un vector valorado complejo, el *vector de ponderaciones de transmisión*. En algunos sistemas, las ponderaciones de recepción (y/o de transmisión) incluyen términos temporales de procesamiento, y en tales casos, las ponderaciones de recepción (y/o de transmisión) pueden ser funciones de la frecuencia y se aplican en el dominio de la frecuencia o, equivalentemente, funciones de tiempo aplicadas en forma de núcleos de convolución. Por otra parte, cada núcleo de convolución puede en sí ser descrito por un conjunto de números complejos, por lo que el vector de núcleos de convolución puede ser re-escrito como un vector de ponderación valorado complejo, que, para el caso de la existencia de  $M$  antenas y teniendo cada núcleo  $K$  entradas, sería un vector de  $KM$  entradas.

35 El entorno RF en el que la estación base está en funcionamiento (*es decir*, el número y ubicación de los usuarios de los sistemas de comunicación y fuentes de interferencia, el medio ambiente físico de propagación y la condición de los sistemas de transmisión y de recepción) pueden cambiar de forma dinámica durante el uso del sistema de comunicación. En tal situación, un sistema de procesamiento de la antena inteligente adaptativa se puede utilizar para modificar las estrategias de procesamiento del sistema (*por ejemplo*, modificar las ponderaciones aplicadas)  
40 para formar el haz transmitido y el procesamiento de las señales recibidas para compensar los cambios. Esto proporciona un procedimiento de adaptación de la transmisión de la señal y las operaciones de procesamiento de la señal recibida para reflejar los cambios en el entorno operativo.

Una aproximación para modificar las características de procesamiento transmisión de señal y de señal recibida de un sistema de comunicación utiliza la transmisión de señales de formación con arco previamente conocido en el  
45 receptor. Al examinar la forma de los datos conocidos cuando ésta se recibe, el receptor puede estimar el usuario y las firmas de interferencia espacial o espacio-temporal. Esto es útil porque la estimación de la firma facilita el cálculo de las ponderaciones de enlace descendente y de enlace ascendente. La firma espacial recibida caracteriza la forma en que la matriz de la estación base recibe las señales de una unidad remota particular (*por ejemplo*, el abonado) en la ausencia de cualquier interferencia u otras unidades de abonado. La firma espacial de transmisión de un usuario  
50 en particular caracteriza la forma en que el usuario remoto recibe las señales desde la estación base en la ausencia de cualquier interferencia. Véase la patente US 5.592.490, titulada "SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS DE ALTA EFICIENCIA ESPECTRALMENTE EFICIENTES", de Barratt, et al., y la patente US 5.828.658, titulada "SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE ALTA CAPACIDAD ESPECTRALMENTE EFICIENTES CON PROCESAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL", de Ottersten, et al.

55 Otro procedimiento para modificar las características de procesamiento de la señal de transmisión y la señal recibida de un sistema de comunicación se basa en la inserción de un período de silencio en una posición conocida en la señal transmitida. Esto es útil porque toda otra energía de señal recibida durante este intervalo se supone que constituyen una interferencia y por lo tanto representa una característica del sistema operativo. Ver solicitud de

patente US No. 08/729,387, titulada "PROCEDIMIENTO ADAPTATIVO PARA LA ASIGNACIÓN DE CANALES EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN CELULAR", de Yun, *et al.*, del mismo titular que la presente invención.

De este modo, aproximaciones de secuencia de formación y período de silencio ambas implican la inserción de datos con una característica conocida en un conjunto de datos y luego observar la forma en que los datos conocidos (o la carencia de los mismos) aparece después de la propagación a través del entorno deseado. La diferencia entre la forma de los datos transmitidos y los datos recibidos conocidos se utiliza para estimar las características del entorno y mejorar el procesamiento de los datos recibidos desconocidos. Mientras que ambos enfoques son útiles, tienen desventajas significativas debido a que ambos procedimientos gastan ancho de banda espectral valioso en señales que no llevan datos reales. Además, los procedimientos son limitados, ya que sólo son fiables para identificar las interferencias que se superponen espectral o temporalmente con los datos de formación o el período de silencio.

Los llamados procedimientos "ciegos" también son conocidos y utilizados para mejorar la formación de las señales de transmisión y el procesamiento de las señales recibidas. Estos procedimientos utilizan una o más propiedades de la señal recibida, como un modelo de propagación geométrica, ciclo estacionalidad, de forma constante, o alfabeto finito para separar la señal del usuario deseada de la interferencia. Las señales resultantes y los parámetros estimados para las propiedades se utilizan para la formulación de estrategias de procesamiento de señales de enlace ascendente y descendente. Mientras que los procedimientos ciegos pueden responder con firmeza a los cambios en el entorno de interferencia, estos procedimientos tienen una alta carga computacional, la necesidad de una gran cantidad de datos sobre los que el entorno de interferencia permanece prácticamente constante, y el "problema de asociación." Este último problema implica decidir cuál de las formas de onda de comunicación presentes en los datos recibidos es la señal de interés y cuáles son producidas por fuentes de interferencia.

Los procedimientos ciegos para determinar la ponderación suelen ser iterativos. La velocidad de convergencia de cualquier procedimiento iterativo es por lo general dependiente de la calidad del valor inicial utilizado para las ponderaciones en el procedimiento iterativo. Un enfoque común es el uso de un valor de ponderaciones previamente determinado. En un entorno de interferencia que cambia rápidamente, la calidad de dicho juego de ponderaciones puede ser degradada significativamente desde que se determinó el conjunto.

El documento EP0899894 divulga un receptor de antena inteligente y un procedimiento de recepción de la señal en un sistema de comunicación CDMA. Señales de radio recibidas, respectivamente, a través de una pluralidad de antenas se multiplican por las ponderaciones de adaptación y las señales multiplicadas se resumen, para generar así una señal de salida de la matriz. La señal de salida de la matriz se multiplica por un código de ruido pseudo detectado a partir de la señal piloto para generar una señal de desexpansión, y la señal de desexpansión se filtra. La amplitud de la señal filtrada se ajusta y luego se multiplica por el código de ruido pseudo para generar una señal de referencia. La diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida matriz se calcula para generar una señal de error. Por lo tanto, una adaptación óptima de la ponderación es generada por la señal de error y las señales de radio.

Por lo tanto, hay una necesidad en la técnica de aparatos y procedimientos que superen las limitaciones de los procedimientos conocidos para el procesamiento de las señales transmitidas o recibidas a cuenta de los cambios en el entorno operativo. En este sentido, es conveniente disponer de estos aparatos y procedimientos que no requieren datos de formación. También es conveniente disponer de los aparatos y procedimientos con los requisitos informáticos de datos modestos y que son capaces de responder rápidamente y con firmeza incluso a grandes cambios en el entorno de interferencia. También es deseable disponer de procedimientos que rápidamente se puedan calcular una estrategia de procesamiento que puede ser utilizada como una condición inicial para la determinación de la estrategia iterativa.

### **Sumario**

La presente invención se refiere a un aparato para producir de forma adaptativa señales transmitidas y el procesamiento de las señales recibidas en un sistema de comunicación que incluye elementos de la antena de inicio. La invención es especialmente adecuada para su uso con una estación base que utiliza una matriz de antenas adaptativa y procesamiento de señal de antena inteligente adaptativa para comunicarse con unidades remotas, con el fin de modificar la estrategia de procesamiento de enlace ascendente o de enlace descendente de la antena inteligente, por ejemplo, las ponderaciones de recepción o de transmisión, aplicados a las señales recibidas o transmitidas por una pluralidad de elementos de antena. Se pueden utilizar realizaciones de la invención para agregar uno o más haces de la antena nulos dirigidos a una o más fuentes de interferencia para facilitar la comunicación entre la estación base de comunicación y las unidades de abonados remotas.

Cuando se procesan las señales recibidas, una realización de la invención modifica un esquema de tratamiento existente mediante la incorporación de información sobre un segundo conjunto de señales para el que la formación y otra información característica es desconocida a informaciones sobre un primer conjunto de señales para el que dicha información característica es conocida, antes de ejecutar el esquema de procesamiento. Esta aproximación puede ser utilizada para modificar la estrategia de procesamiento de recepción aplicada a las señales recibidas desde cada uno de una pluralidad de elementos de antena para tener en cuenta la presencia de un entorno de

interferencia cambiante. Por ejemplo, para el procesamiento de antena inteligente lineal, la aproximación puede ser utilizada para modificar las ponderaciones de recepción que determinan la ponderación relativa asignada a las señales recibidas desde cada uno de una pluralidad de elementos de antena para tener en cuenta la presencia de un entorno de interferencia cambiante. Este permite una actualización adaptativa de la estrategia de tratamiento de recepción (*por ejemplo*, ponderaciones de recepción) con base en la información adicional proporcionada por el segundo conjunto de datos y puede llevarse a cabo más rápidamente y con menos recursos informáticos que los requeridos para determinar la estrategia de procesamiento (*por ejemplo*, ponderaciones de recepción), basada en la aplicación de todo el esquema de procesamiento al segundo conjunto de datos. Además, suponiendo que alguna relación entre el entorno de transmisión y recepción, la invención también puede ser usada para modificar la estrategia de procesamiento de transmisión (*por ejemplo*, ponderaciones de transmisión) utilizada por la estación base. Por ejemplo, en un sistema, en el que la frecuencia del enlace ascendente y del enlace descendente es la misma, se puede asumir reciprocidad. En un sistema en el que las frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente son diferentes para comunicarse con un usuario remoto particular, puede ser necesario determinar una relación más compleja, utilizando, por ejemplo, la dirección de llegada.

De este modo, las realizaciones de la invención pueden incluir un procedimiento de operación de un sistema de comunicación, que incluye una estación base y una o más unidades remotas, en las que un procedimiento de procesamiento de enlace ascendente ya existente (*por ejemplo*, en el caso de procesamiento lineal, un conjunto mejorado de ponderaciones de enlace ascendente) o un procedimiento de procesamiento de enlace descendente (*por ejemplo*, un juego de ponderaciones de enlace descendente) se ha modificado para mejorar el funcionamiento del sistema cuando el entorno de interferencia varía con el tiempo. En particular, teniendo en cuenta cualquier otro procedimiento para calcular las estrategias informáticas o las ponderaciones de una señal pasada, una realización de la invención incluye la modificación del procedimiento mediante la adición de una versión a escala de una señal presente en la señal pasada, antes de que el procedimiento es ejecutado. Esto introduce la información de la señal presente en el esquema de procesamiento, lo que permite una actualización de las ponderaciones con un mínimo de recursos informáticos. Otras modificaciones también son posibles, por ejemplo, mediante la modificación de las matrices de covarianza de matriz en los procedimientos basados en matriz de covarianza. Estas modificaciones son efectivas para rechazar la interferencia que aparece sólo en los datos presentes y no en los pasados, al mismo tiempo que mantiene un rendimiento comparable al procedimiento original sin modificar.

La estrategia informatizada mejorada también se puede utilizar como una condición inicial para la determinación de los procedimientos de ponderación iterativos.

La presente invención supera las limitaciones de los procedimientos conocidos en que no hay datos de formación u otra determinación de señal de referencia es necesaria en los datos actuales para alterar los haces del elemento de la antena (*por ejemplo*, para añadir haces de luz nulos) para un procedimiento de procesamiento de enlace ascendente o de enlace descendente ya existente, los requisitos informáticos son modestas, y el procedimiento responde con rapidez y firmeza incluso a grandes cambios en el entorno de interferencia. En muchos casos, las realizaciones de la invención pueden llevarse a cabo con sólo una pequeña modificación en los sistemas existentes, para mejorar el rendimiento en un entorno cambiante, mientras que la interferencia impacta de forma insignificante en el rendimiento cuando el entorno es estático. Finalmente, la invención es aplicable tanto a los sistemas TDD en los que la frecuencia de transmisión y recepción es la misma, y el sistema bidireccional del dominio de la frecuencia (FDD) en el que la frecuencia de transmisión y recepción para la comunicación con una unidad remota en particular son diferentes.

### **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se comprenderá más plenamente a partir de la descripción de las realizaciones preferidas de la invención, que, sin embargo, no debe ser tomado para limitar la invención a ninguna realización concreta, pero son para fines explicativos y para proporcionar una mejor comprensión del aparato de la invención y el procedimiento. Las realizaciones preferidas pueden ser mejor entendidas con referencia a las siguientes figuras:

La **Figura 1** es un diagrama de bloques funcionales de un sistema transmisor-receptor de múltiples antenas que incluye los elementos adecuados para la aplicación del procedimiento de una realización de la invención;

La **Figura 2** es un diagrama de bloques más detallado de un transmisor-receptor que incluye un procesador de señal capaz de ejecutar un conjunto de instrucciones para la aplicación del procedimiento de una realización de la invención;

La **Figura 3** es un diagrama de bloques que ilustra un procedimiento de cálculo de la estrategia y el aparato que utiliza las estimaciones de uno o más rasgos característicos de un primer conjunto de datos;

La **Figura 4** es un diagrama de bloques que ilustra un generador de señal de referencia que puede ser utilizado en cualquiera de las realizaciones de la invención;

La **Figura 5** es un diagrama de bloques que ilustra una modificación del procedimiento y un aparato de la **figura 3** de acuerdo con una realización de la invención;

La **Figura 6** es un diagrama de bloques que ilustra una modificación adicional del procedimiento y un aparato de la **figura 3** que ilustra algunas de las operaciones de procesamiento de señal aplicadas a los datos recibidos cuando se aplica una realización de la invención;

5 La **Figura 7** es un diagrama de bloques que ilustra una realización del procedimiento de la invención que se aplica a una estrategia de procesamiento basada en la covarianza;

La **Figura 8** es un diagrama de bloques que ilustra algunas de las operaciones de procesamiento de señal aplicadas a los datos recibidos en la aplicación de otra realización del procedimiento de la invención;

La **Figura 9** es un diagrama de bloques que ilustra algunas de las operaciones de procesamiento de señal aplicadas a los datos recibidos cuando se aplica otra realización del procedimiento de la invención;

10 La **Figura 10** es un diagrama de bloques que ilustra algunas de las operaciones de procesamiento de señal aplicadas a los datos recibidos cuando se aplica una realización del procedimiento de la invención aplicada a una estrategia de procesamiento basada en la covarianza de ruido-más-interferencia;

15 La **Figura 11** es un diagrama de bloques que muestra un procedimiento informático de estrategia y un aparato que tiene como entrada un primer conjunto de datos y una señal de referencia para el primer conjunto de datos;

La **Figura 12** es un diagrama de bloques que muestra la modificación del procedimiento y un aparato de la figura 11 de acuerdo con un aspecto de la invención;

La **Figura 13** es un diagrama de bloques que muestra una forma de realización basada en la inyección de la señal del procedimiento de la invención aplicado a la estrategia de procesamiento;

20 La **Figura 14** es un diagrama de bloques que muestra una realización de extracción característica de la inyección de la señal sintética del procedimiento de la invención aplicado a una estrategia de procesamiento;

25 La **Figura 15** es un diagrama de bloques que muestra una realización del procedimiento de la invención aplicado a un generador de estrategias de procesamiento que utiliza una señal de referencia, datos primarios, y una estimación de la covarianza, con la estimación de la covarianza modificada por inyección de señal para incluir los efectos de mitigación de interferencia de la señal secundaria;

La **Figura 16** es un diagrama de bloques que muestra la aplicación de una realización de inyección de señal del procedimiento de la invención a un generador de estrategia de procesamiento que utiliza una señal de referencia, datos primarios, y un estimador de ruido covarianza ruido más interferencia,

30 La **Figura 17** es un diagrama de bloques que muestra una realización de inyección de la señal del procedimiento de la invención aplicado a un generador de estrategia no lineal, donde el generador de la estrategia incluye una etapa de demodulación;

La **Figura 18** es un diagrama de bloques que muestra una aplicación general de una realización de la inyección de señal del procedimiento de la invención tal como se utiliza para procesar los datos de nivel terciario;

35 La **Figura 19** es una comparación del funcionamiento de un procedimiento de ponderación de enlace ascendente de la técnica anterior de acuerdo con una realización de la invención, y muestra el efecto de la variación del usuario deseado mientras se mantiene constante la relación de potencias del usuario y de interferencia (la relación C/I o CIR), y

40 La **Figura 20** es otra comparación del funcionamiento de un procedimiento de determinación de ponderación de enlace ascendente de la técnica anterior con un procedimiento de acuerdo con una realización de la invención, y muestra el efecto de la variación de la relación C/I, manteniendo constante la SNR del usuario deseado.

**Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

*Procesamiento de antena inteligente adaptable*

45 Las realizaciones de la invención se refieren a un procedimiento de procesamiento para alterar las ponderaciones de transmisión o recepción utilizados por una estación de comunicación para definir una señal de transmisión o para procesar una señal recibida con el fin de tener en cuenta la presencia de un entorno de interferencia cambiante, y aparatos para la aplicación de la misma. Las realizaciones de la invención pueden ser implementadas en una estación de comunicación que incluye un receptor, un conjunto de antenas y los medios para el procesamiento de adaptación de antena inteligente de las señales recibidas. Las realizaciones de la invención también pueden ser implementadas en una estación de comunicación que incluye un transmisor, una matriz de antenas, y medios para el procesamiento de la antena inteligente adaptable de las señales transmitidas. En una realización preferida, la

estación de comunicación incluye un transceptor y la capacidad de la aplicación tanto del procesamiento de antena inteligente adaptable del enlace ascendente y descendente.

5 Cuando se recibe una señal de una unidad (remota) de un abonado, las señales recibidas por cada uno de los elementos de la matriz de antena se combinan con los elementos de procesamiento de antena inteligente adaptable para proporcionar una estimación de una señal recibida desde la unidad de abonado. En la realización preferida, el procesamiento de antena inteligente comprende el procesamiento espacial lineal, donde cada uno de las señales evaluadas complejas (*es decir*, incluyendo componentes en fase  $I$  y en cuadratura  $Q$ ) recibidas desde los elementos de la antena se pondera en amplitud y fase por un factor de ponderación y las señales ponderadas se suman para proporcionar la estimación de la señal. El esquema de procesamiento de la antena inteligente adaptable (*es decir*, la estrategia), puede ser descrita entonces por un conjunto de ponderaciones evaluadas complejas, una para cada uno de los elementos de la antena. Estas ponderaciones evaluadas complejas pueden ser descritas como un único vector evaluado complejo de  $M$  elementos, donde  $M$  es el número de elementos de antena. Por lo tanto, en el caso lineal, el procesamiento de antena inteligente está diseñado para determinar un conjunto de ponderaciones de tal manera que la suma de los productos de las ponderaciones de los por las señales del elemento de antena proporciona una estimación de la señal transmitida del usuario remoto que satisface algunas medidas "calidad de estimación" prescritas.

Esta representación del procesamiento de antena inteligente adaptable puede ser expandida para incluir el procesamiento espacio-temporal, donde la señal en cada elemento de antena, en lugar de ser ponderada en amplitud y fase, se filtra mediante un filtro de valor complejo, por lo general con fines de compensación del tiempo. En este procedimiento, cada filtro puede ser descrito por una función de transferencia de evaluada compleja o la función de convolución. El procesamiento de antena inteligente adaptable de todos los elementos puede ser descrito por un  $M$ -vector complejo evaluado de funciones de convolución evaluadas  $M$  complejas.

Se conocen varios procedimientos para determinar los vectores de ponderación aplicables cuando se procesan las señales recibidas. Estos incluyen procedimientos que determinan las direcciones de llegada de las señales desde las unidades de abonado y los procedimientos que utilizan las características espaciales o espacio-temporales de las unidades de abonado, por ejemplo, las firmas espaciales o espacio temporales. Véase, por ejemplo las patentes US 5.515.378 y 5.642.353, tituladas "SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE ACCESO MÚLTIPLE DE DIVISIÓN ESPACIAL", de Roy, *et al.*, del mismo titular que la presente invención, para los procedimientos que utilizan direcciones de llegada. Véase también las patentes antes mencionadas US 5.592.490 y 5.828.658 para los procedimientos que utilizan firmas espaciales y espacio-temporales.

Procedimientos "ciegos" para determinar las ponderaciones a partir de las propias señales, pero sin recurrir a un conocimiento *a priori*, tales como señales de formación o periodos de silencio, es decir, sin determinar qué ponderación puede estimar mejor una secuencia de símbolo conocida (o en el caso del período de silencio, la ausencia de una secuencia conocida). Tales procedimientos ciegos suelen utilizar algunas características conocidas de la señal transmitida por la unidad de abonado para determinar las mejores ponderaciones de recepción a utilizar al restringir la señal estimada que tenga esta propiedad, y por lo tanto se refieren a veces como los procedimientos de restauración de propiedad.

Los procedimientos de restauración de propiedad a su vez se pueden clasificar en dos grupos. Procedimientos de restauración de propiedad sencillos restauran una o más propiedades de la señal sin reconstruir completamente la señal modulada recibida, por ejemplo, mediante demodulación y luego volver a la modulación. Los procedimientos de restauración más complejos por lo general se basan en la reconstrucción de la señal recibida.

Los procedimientos de restauración de propiedad determinan una señal (una "señal de referencia") que está restringida a la propiedad necesaria y luego determinan un conjunto de ponderaciones que corresponde a la señal de referencia, de tal manera que si la señal de referencia fue transmitida por un usuario remoto, el señales en los elementos de la antena de la matriz de recepción estaría aceptablemente "cerca" de las señales efectivamente recibidas. Un ejemplo de un procedimiento de restauración simple es el procedimiento del módulo constante (CM), que es aplicable a los sistemas de comunicación que utilizan un esquema de modulación que tiene un módulo constante, incluyendo, por ejemplo, modulación de fase (PM), modulación de frecuencia (FM), cambio de fase claves (PSK) y cambio de frecuencia de claves (FSK). El procedimiento de CM también se ha demostrado que es aplicable a las señales no-CM. Otras técnicas de restauración parcial de la propiedad incluyen técnicas que restauran las propiedades espectrales de la señal, como la auto-coherencia espectral de la señal.

Los procedimientos de "decisión dirigida" (DD) construyen una señal de referencia mediante la toma de decisiones símbolo (*por ejemplo*, demodular) la señal recibida. Son conocidos procedimientos de decisión dirigida que utilizan el hecho de que el esquema de modulación de la señal de la unidad de abonado transmitida, y luego determinan una señal (una "señal de referencia") que se ve obligada a tener las características del esquema de modulación requerido. En tal caso, la señal de referencia del proceso de producción incluye la toma de decisiones símbolo. Se determinó que las ponderaciones producen una señal de referencia, que si se transmiten por un usuario remoto, producirían señales en - los elementos de antena de la matriz que están lo suficientemente "cerca" de las señales que se reciben efectivamente. Véase, por ejemplo, la solicitud de patente US no. 08/729,390, titulada "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA LA DEMODULACIÓN DIRIGIDA POR DECISIONES USANDO MATRICES

5 *DE ANTENAS Y PROCESAMIENTO ESPACIAL*" de Barratt, et al, y US 09/153,110, titulada "PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE SEÑALES DE REFERENCIA EN PRESENCIA DE DESPLAZAMIENTOS DE FRECUENCIA EN UNA ESTACIÓN DE COMUNICACIÓN CON PROCESAMIENTO ESPACIAL" de Petrus, et al., las cuales son del mismo titular que la presente invención, para la descripción de los sistemas que utilizan procedimientos de determinación de la ponderación de decisión dirigida.

10 Tal como se mencionó anteriormente, también se sabe que los esquemas de determinación de ponderación que utilizan los datos de formación, es decir, datos, cuyos símbolos son conocidos *a priori*. Los datos de formación (posiblemente con un tiempo de compensación o desplazamiento de frecuencia, o ambos aplicados) se utilizan como una señal de referencia para determinar la estrategia de procesamiento de antena inteligente (*por ejemplo*, las ponderaciones). Por lo tanto, los procedimientos basados en la señal de referencia incluyen el caso en que la señal de referencia incluye los datos de formación, caso en el que la señal de referencia incluye una señal obligada a tener alguna propiedad de la señal transmitida, y el caso de que la señal de referencia incluye la construcción de una señal basada en la toma de decisiones símbolo.

15 También se conocen estrategias de procesamiento no lineal de enlace ascendente y de enlace descendente. En la dirección de enlace ascendente, estos procedimientos suelen incluir demodulación y actúan para determinar una estimación de los símbolos transmitidos por un usuario remoto deseado desde el conjunto de señales recibidas en los elementos de antena de la estación de comunicación. Un ejemplo conocido de dicho esquema de procesamiento se basa en un algoritmo de Viterbi utilizando métrica de rama. En este sentido, cabe señalar que la presente invención no se limita a los procedimientos de procesamiento espacial lineales y espacio-temporales que incluyen la determinación de ponderación, pero también es igualmente aplicable a los procedimientos no lineales, como los basados en algoritmos de Viterbi y métrica de rama, que no necesariamente incluyen la determinación de ponderaciones.

20 Todos los procedimientos informáticos de estrategia anteriores tienen los siguientes elementos en común: incluyen el uso de una señal de referencia conocida o determinada, determinan una estrategia basada en el procesamiento de los datos de la señal recibida, y tienen en cuenta uno o más aspectos del entorno operativo, *por ejemplo*, la ubicación, el número y características de los transmisores de interferencia, las características cambiantes del canal, etc. Este entorno operativo se conoce aquí como el entorno de interferencia, y dichos procedimientos de determinación de la estrategia son llamados aquí procedimientos de determinación de ponderación "atenuantes de la interferencia".

25 En teoría, el proceso de adaptación de antena inteligente permite que más de un enlace de comunicación exista en un único canal de comunicación "convencional", siempre y cuando las unidades del abonado que comparten el canal convencional puedan ser resueltas espacialmente (o espacio-temporalmente). Un canal convencional incluye un canal de frecuencia de un sistema de acceso múltiple de división de la frecuencia (FDMA), un espacio de tiempo en un sistema de división en el tiempo de acceso múltiple (TDMA) (que por lo general también incluye FDMA, por lo que el canal convencional es un espacio de tiempo y de frecuencia), y un código en un sistema de división de código de acceso múltiple (CDMA). El canal convencional se dice entonces que se divide en uno o más canales "espaciales", y cuando existe más de un canal por canal espacial convencional, la multiplexación se llama acceso múltiple por división del espacio (SDMA). SDMA se utiliza aquí para incluir la posibilidad de procesamiento de antena inteligente adaptable, tanto con uno y con más de un canal espacial por canal convencional.

#### 30 **Arquitectura de la estación base**

35 La realización preferida del procedimiento y el aparato de la invención se lleva a cabo en un receptor de comunicación, en particular, una estación de comunicación (transceptor) de matriz de antena basado en un sistema de teléfono manual personal (PHS) tal como se muestra en la **figura 1**, con  $M$  elementos de la antena en la matriz de antenas. El estándar PHS se describe, por ejemplo, en el estándar preliminar de la Association of Radio Industries and Businesses (ARIB, Japón), versión 2, RCR STD-28 y las variaciones se describen en las Normas Técnicas del Memorandum PHS del Grupo de Entendimiento (PHS MoU -- ver <http://www.phsmou.or.jp>). Las realizaciones preferidas de la presente invención pueden ser ejecutadas en dos versiones de la estación de comunicación de la **figura 1**, una destinada a un sistema de baja movilidad del PHS, con  $M = 4$ , y otra, dirigida a un sistema de bucle local inalámbrico (WLL), con un número variable, normalmente con  $M = 12$ .

40 Aunque los sistemas tienen algunos elementos similares a los que se muestran en la **figura 1** pueden ser de la técnica anterior, un sistema como el de la **figura 1** con elementos **131** y **133** capaz de implementar el procedimiento de la invención no es técnica anterior. Debe tenerse en cuenta que la presente invención no está limitada de ninguna manera a través de la interfaz de aire PHS o a los sistemas de TDMA, pero puede ser utilizada como parte de cualquier receptor de la comunicación que incluye medios de procesamiento de la antena inteligente adaptable, incluyendo los sistemas CDMA que utilizan la interfaz de aire IS-95 y sistemas que utilizan la interfaz de aire GSM común.

45 En el sistema de la **figura 1**, un interruptor transmisor/receptor ("TR") **107** está conectado entre una matriz de antena  $M$  **103** y ambas electrónicas de transmisión **113** (incluyendo uno o más procesadores de señal de transmisión **119** y transmisores  $M$  **120**), y electrónica de recepción **121** (incluyendo receptores  $M$  **122** y uno o más procesadores de

señal de recepción **123**). El interruptor **107** se utiliza para conectar selectivamente uno o más elementos de la red de antenas **103** a la electrónica de transmisión **113** cuando está en modo de transmisión y a la electrónica recepción **121**, cuando está en el modo de recepción. Dos posibles implementaciones de interruptor **107** son como un duplexor de frecuencia en un sistema dúplex por división de frecuencia (FDD), y como un interruptor de tiempo en un sistema dúplex por división de tiempo (TDD).

La forma de PHS de la realización preferida de la presente invención utiliza TDD. Los transmisores **120** y receptores **122** se pueden implementar utilizando la electrónica analógica, electrónica digital, o una combinación de las dos. La modalidad preferida de los receptores **122** genera señales digitales que se alimentan a la señal del procesador o los procesadores **123**. Los procesadores de señal **119** y **123** incorporan software y/o hardware para la ejecución del procedimiento de la invención y pueden ser estáticos (siempre la mismas etapas de transformación), dinámicos (cambiando el procesamiento en función de directividad deseada), o inteligentes (cambiando de procesamiento en función de las señales recibidas). En las realizaciones preferidas de la invención, los procesadores **119** y **123** son adaptables. Los procesadores de señales **119** y **123** pueden ser el mismo dispositivo DSP o dispositivos DSP con una programación diferente para la recepción y transmisión, o de diferentes dispositivos DSP, o dispositivos diferentes para algunas funciones, y lo mismo para los demás. Los elementos 131 y 133 son para la aplicación del procedimiento de la presente invención para el procesamiento del enlace descendente y del enlace ascendente, respectivamente, en esta realización, e incluyen las instrucciones de programación para la aplicación de los procedimientos de procesamiento.

Debe tenerse en cuenta que aunque la **figura 1** muestra un transceptor en el que los elementos de antena se utilizan tanto para recepción y transmisión, debe quedar claro que también se pueden utilizar antenas separadas para la recepción y transmisión, y que las antenas capaces sólo de recibir o sólo de transmitir o tanto de recibir y transmitir pueden ser utilizadas con el procesamiento de antena inteligente adaptable.

El sistema PHS es un sistema de acceso múltiple de división de tiempo de ocho espacios (TDMA) con división doble de tiempo verdadera (TDD). Así, los 8 espacios de tiempo se dividen en cuatro espacios de tiempo de transmisión (TX) y 4 espacios de tiempo de recepción (RX). Esto implica que para cualquier canal particular, la frecuencia de recepción es la misma que la frecuencia de transmisión. También implica la reciprocidad, es decir, la trayectoria de propagación, tanto para el enlace descendente (desde la estación base a los terminales remotos de los usuarios) y el enlace ascendente (desde las terminales remotas de los usuarios a la estación base) es idéntica, en el supuesto de un movimiento mínimo de la unidad de abonado entre espacios de tiempo de recepción y espacios de tiempo de transmisión. La banda de frecuencia del sistema PHS utilizada en la realización preferida es 1895-1918.1 MHz. Cada uno de los 8 intervalos de tiempo es de 625 microsegundos de duración. El sistema PHS incluye una frecuencia y espacio de tiempo dedicados para un canal de control en el que se lleva a cabo la inicialización de llamada. Una vez que se establece un vínculo, la llamada se entrega a un canal de servicio para las comunicaciones regulares. La comunicación se produce en cualquier canal a una velocidad de 32 kbits por segundo (kbps), un índice denominado "índice normal". También es posible la comunicación a menos del índice completo, y los detalles de cómo modificar las realizaciones descritas en este documento para incorporar la comunicación a menos de índice completo estarían claras para los expertos en la materia.

En el PHS utilizado en la realización preferida, una ráfaga se define como la señal RF de duración finita que se transmite o recibe a través del aire durante un espacio de tiempo único. Un grupo se define como un conjunto de 4 TX y 4 RX espacios de tiempo. Un grupo siempre comienza con el primer espacio de tiempo TX, y su tiempo de duración es de  $8 \times 0,625 = 5$  mseg.

El sistema PHS utiliza modulación ( $\pi/4$  diferencial cuaternario (o cuadratura) por desplazamiento de fase ( $\pi/4$  DQPSK) de la señal de banda base. El índice de transmisión es de 192 kbaudios. Así pues, hay 192.000 símbolos por segundo.

La **figura 2** es un diagrama de bloques más detallado de un transceptor que incluye un procesador de señal capaz de ejecutar un conjunto de instrucciones para la aplicación del procedimiento de la presente invención. Esta es la versión del sistema de la **figura 1** adecuado para su uso en un sistema PHS de baja movilidad. En la **figura 2**, se utiliza una pluralidad de antenas  $M$  **103**, en donde  $M = 4$ . Más o menos elementos de antena pueden ser utilizados. Las salidas de las antenas están conectadas a un interruptor de doble cara **107**, que en este sistema TDD es un interruptor de tiempo. Durante la recepción, las salidas de antena se conectan a través del interruptor **107** a un receptor **205**, y se mezclan en analógico mediante módulos receptores RF **205** desde la frecuencia portadora (alrededor de 1,9 GHz) a una frecuencia intermedia ("IF"). Esta señal se digitaliza (muestrea) mediante convertidores de analógico a digital ("ADCs") **209**. El resultado se convierte de manera descendente digitalmente por un convertidor descendente digital **213** para producir una señal muestreada (en fase  $I$  y en cuadratura  $Q$ ) evaluada compleja muestreada. Por lo tanto, los elementos **205**, **209** y **213** corresponden a elementos que se pueden encontrar en el receptor **122** de la **figura 1**. Para cada uno de los espacios de tiempo de recepción  $M$ , las salidas  $M$  convertidas de manera descendente a partir de las  $M$  antenas son alimentadas a un dispositivo procesador de señal digital (DSP) **217** (en adelante "el procesador de espacio de tiempo") para su posterior procesamiento. En la realización preferida, se utilizan dispositivos DSP comerciales como procesadores de espacio de tiempo, uno por espacio de tiempo de recepción por canal espacial.

Los procesadores de espacio de tiempo **217** realizan varias funciones, que pueden incluir las siguientes: monitorización de potencia de señal recibida, estimación/corrección de la frecuencia de desplazamiento y estimación/corrección de compensación del tiempo, procesamiento de antena inteligente (incluyendo la determinación de las ponderaciones de recepción para cada elemento de la antena para determinar una señal desde un usuario remoto particular, de acuerdo con la presente invención), y la demodulación de la señal determinada. La versión del procedimiento de procesamiento del enlace ascendente de la invención tal como se aplica en cada procesador de intervalo de tiempo **217** en la realización de la **figura 2** se muestra como bloque **241**.

El procesador de espacio de tiempo de salida **217** es una ráfaga de datos demodulada para cada uno de los espacios de tiempo de recepción  $M$ . Estos datos se envían al procesador DSP servidor **231**, cuya función principal es controlar todos los elementos del sistema y la interfaz con el procesamiento de nivel más alto (es decir, procesamiento que trata con qué señales se requieren para la comunicación en diferentes canales de control y de servicio de comunicación definidos en el protocolo de comunicación PHS). En la realización preferida, el servidor DSP **231** es un dispositivo DSP comercial. En una implementación de la presente invención, los procesadores de espacio de tiempo **217** envían las ponderaciones recibidas determinadas al servidor DSP **231**. Debe tenerse en cuenta que si lo desea, las ponderaciones de recepción también puede ser determinadas por un software especialmente implementado en el servidor DSP **231**.

El controlador RF **233** interconecta con los elementos de transmisión RF, que se muestran como el bloque **245**, y también produce una serie de señales de tiempo que son utilizadas tanto por los elementos de transmisión y el módem. El controlador RF **233** recibe sus parámetros de tiempo y otras configuraciones para cada ráfaga del servidor DSP **231**.

El controlador/modulador de transmisión **237** recibe datos transmitidos desde el servidor DSP **231**. El controlador de transmisión **237** utiliza estos datos para producir las salidas IF analógicas si que se envían a los módulos (TX) transmisor RF **245**. Las operaciones específicas realizadas por el controlador/modulador de transmisión **237** incluyen: la conversión de los bits de datos en una señal modulada ( $\pi/4$  DQPSK) compleja evaluada, hasta convertir-a una frecuencia intermedia (IF), la ponderación mediante ponderaciones de transmisión evaluadas complejas obtenidas desde el servidor DSP **231**, y la conversión de las señales a ser transmitidas utilizando convertidores digitales a analógicos ("DACs") para formar formas de onda de transmisión analógicas que se proporcionan a los módulos de transmisión **245**.

El procedimiento de procesamiento de enlace descendente de la invención se lleva a cabo en la realización de la **figura 2** en el servidor DSP 231, y se muestra como el bloque **243**. En otras versiones, el procedimiento de procesamiento de enlace descendente se lleva a cabo en los procesadores de espacio de tiempo **217** y en otra versión, se implementa en el controlador/modulador de transmisión **237**.

Los módulos de transmisión **245** convierten las señales a la frecuencia de transmisión y amplifican las señales. Las salidas de la señal de transmisión amplificada se acoplan a las antenas  $M$  **103** a través del interruptor duplexor/tiempo **107**.

En la descripción de los procedimientos de la invención, se utiliza la siguiente notación. Dado  $M$  elementos de la antena ( $M = 4$ , en una puesta en práctica, y 12 en otra realización), dejando que  $z_1(t)$ ,  $z_2(t)$ , ...,  $z_M(t)$  sean las respuestas evaluadas complejas (es decir, con componentes en fase  $I$  y en cuadratura  $Q$ ) del primer, segundo, ...,  $M$  ésimos elementos de antena, respectivamente, después de conversión descendente, es decir, en banda base, y después del muestreo (muestreando cuatro veces en la realización preferida). En la notación anterior, pero no necesariamente requerido para la presente invención,  $t$  es discreta. Estos  $M$  cantidades de tiempo muestreadas pueden ser representadas mediante un único  $M$ -vector  $\mathbf{z}(t)$  con la  $i$  ésimos fila de  $\mathbf{z}(t)$  siendo  $z_i(t)$ . Para cada ráfaga, un número finito de muestras, por ejemplo  $N$ , se recoge, de manera que  $z_1(t)$ ,  $z_2(t)$ , ...,  $z_M(t)$  cada una puede ser representada como un vector  $N$ -fila y  $\mathbf{z}(t)$  se puede representar por una matriz  $\mathbf{Z}$  de  $M$  por  $N$ . En gran parte de la descripción detallada presentada a continuación, esos detalles de la incorporación de un número finito de muestras se supone conocida, y la forma de incluir estos detalles estará clara para los expertos en la materia.

Suponiendo que las señales se transmiten a la estación base desde  $N_s$  usuarios remotos. En particular, supongamos que una unidad de abonado de interés transmite una señal  $s(t)$ . El procesamiento de la antena inteligente adaptable lineal, que se utiliza en la realización preferida de la invención, incluye la adopción de una combinación particular de los valores  $I$  y los valores  $Q$  de las señales del elemento antena recibidas  $z_1(t)$ ,  $z_2(t)$ , ...,  $z_M(t)$  con el fin de extraer una estimación de la señal transmitida  $s(t)$ . Tales ponderaciones evaluadas complejas pueden ser representadas por el vector de ponderación de recepción para la unidad de abonado particular, denotado por un vector de ponderación evaluado complejo  $\mathbf{w}_r$ , con  $i$  ésimos elemento  $w_{ri}$ . La estimación de la señal transmitida desde la unidad remota se puede representar como:

$$s(t) = \sum_{i=1}^M w'_{ri} z_i(t) = \mathbf{w}_r^H \mathbf{z}(t) \quad (1)$$

donde  $w_{ri}^*$  es el complejo conjugado de  $w_{ri}$  y  $\mathbf{w}_r^H$  es la transposición de Hermite (es decir, el conjugado de la transposición y complejo) del vector de ponderación de recepción  $\mathbf{w}_r$ . La ecuación 1 se denomina una operación de la señal de copia, y la estimación de la señal  $s(t)$  así obtenida se denomina señal de copia.

5 El procesamiento espacial descrito por la ecuación. 1 puede ser re-escrito en forma de vector para el caso de  $N$  muestras de las señales  $M$ -vector  $\mathbf{z}(t)$  y se calculan  $N$  muestras de la señal transmitida  $s(t)$ . En tal caso, sea  $\mathbf{s}$  un (1 por  $N$ ) vector fila de la  $N$  muestras de  $s(t)$ . La operación de la señal de copia de la ecuación 1, entonces puede volver a escribirse como:

$$\mathbf{s} = \mathbf{w}_r^H \mathbf{Z}.$$

10 En las realizaciones que incluyen procesamiento espacio-temporal, cada elemento en el vector de ponderaciones de recepción es una función del tiempo, de modo que el vector de ponderación puede ser denotado como  $\mathbf{W}_r(t)$ , con  $i$ -ésimo elemento  $w_{ri}(t)$ . La estimación de la señal se puede expresar como:

$$s(t) = \sum_{i=1}^M w_{ri}^*(t) * z_i(t) \quad (2)$$

15 donde el operador "\*" representa la operación de convolución. El procesamiento espacio-temporal puede combinar la ecualización del tiempo con el procesamiento espacial, y es particularmente útil para las señales de banda ancha. La formación de la estimación de la señal utilizando procesamiento espacio-temporal puede llevarse a cabo de forma equivalente en el dominio de frecuencia (transformada de Fourier). Indicando las representaciones de dominio de la frecuencia de  $s(t)$ ,  $z_i(t)$  y  $w_{ri}(t)$  por  $S(k)$ ,  $Z_i(k)$ , y  $W_r(k)$ , respectivamente, donde  $k$  es el valor de la frecuencia discreto:

$$S(k) = \sum_{i=1}^M W_{ri}^*(k) Z_i(k). \quad (3)$$

20 Con el procesamiento espacio-temporal, la operación de convolución de la ecuación (2) es usualmente finita y por lo general cuando se realiza en datos de la muestra, lo que equivale a la combinación del tratamiento espacial con ecualización de tiempo con un ecualizador el dominio del tiempo con un número finito de ecualizadores. Es decir, cada uno de  $w_{ri}(t)$  tiene un número finito de valores de  $t$ , y de forma equivalente, en el dominio de la frecuencia, cada uno de los  $W_r(k)$  tiene un número finito de  $k$  valores. Si la longitud de las funciones de convolución  $w_{ri}(t)$  es  $K$ , entonces en lugar de determinar un vector evaluado complejo de  $M$ -ponderaciones  $\mathbf{w}_r$ , se determina una matriz  $\mathbf{W}_r$   $M$  por  $K$  evaluada compleja cuyas columnas son los  $K$  valores de  $\mathbf{w}_r(t)$ .

25 Alternativamente, un procedimiento para determinar la ponderación espacial puede ser modificado para procesamiento espacio-temporal de acuerdo a una matriz de ponderaciones que vuelve a expresar el problema en términos de matrices y vectores de diferentes tamaños. Como en toda esta descripción,  $M$  es el número de elementos de antena, y  $N$  es el número de muestras. Si  $K$  es el número de ecualizadores por elemento de antena. Cada vector de fila de  $N$  muestras de la matriz de la señal recibida ( $M$  por  $N$ )  $\mathbf{Z}$  se puede volver a escribir como  $K$  filas de versiones desplazadas de la primera fila para producir una matriz de señales recibidas  $\mathbf{Z}$  de tamaño ( $MK$  por  $N$ ), que cuando se pre-multiplica por la transposición de Hermite de un vector de ponderaciones de tamaño ( $MK$  por 1), produce un vector de fila estimado de señales recibidas de  $N$  muestras. El problema espacio-temporal, por lo tanto, puede volver a ser expresado como un problema determinante de vectores de ponderación.

35 Por ejemplo, para los procedimientos basados en la covarianza, el vector de ponderaciones es un vector de ponderaciones "largo" de tamaño ( $MK$  por 1), la matriz de covarianza  $\mathbf{R}_{zz} = \mathbf{Z}\mathbf{Z}^H$  es una matriz de tamaño ( $MK$  por  $MK$ ), y la correlación de las señales de antena  $\mathbf{Z}$  con alguna señal representada por un vector de fila (1 por  $N$ )  $\mathbf{s}$  es  $\mathbf{r}_{zs} = \mathbf{Z}\mathbf{s}^H$ , un vector largo de tamaño ( $MK$  por 1). Reordenando los términos en el vector "largo" de ponderación se proporciona la matriz de ponderación necesaria ( $M$  por  $K$ ).

40 Una estrategia de procesamiento de enlace descendente (es decir, de transmisión) que utiliza un procesamiento de antenas inteligentes adaptativo incluye la transmisión de una señal, que se denota en el caso de muestras finitas mediante un vector (1 por  $N$ )  $\mathbf{s}$ , desde la estación de comunicación a un usuario remoto particular formando un conjunto de señales de antena (típicamente, pero no necesariamente en banda de base). El procesamiento lineal de antenas inteligentes determina las señales de antena como:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{w}_r \mathbf{s},$$

45

donde  $w_i$  es el vector de ponderaciones de enlace descendente (o de transmisión). Cuando SDMA se utiliza para transmitir a varios usuarios remotos en el mismo canal (convencional), se forma la suma de  $w_i s_i$  para diferentes señales  $s_i$  dirigidas a diferentes usuarios remotos, que se transmite mediante los  $M$  elementos de antena.

5 Debe tenerse en cuenta que una estrategia de enlace descendente, por ejemplo, que incluye la determinación de las ponderaciones de enlace descendente  $w_i$ , puede ser implementada basándose en una estrategia de enlace ascendente, por ejemplo ponderaciones de enlace ascendente, junto con los datos de calibración. En esta situación, la calibración tiene en cuenta las diferencias en las rutas electrónicas de transmisión y recepción de los elementos de antena diferentes. La estrategia de enlace descendente también se puede encontrar a partir de la estrategia de enlace ascendente mediante el uso de firmas de transmisión espacial de los usuarios remotos, o mediante otros procedimientos conocidos. Una vez más, la formulación de vectores de ponderación puede ser utilizada tanto para el procesamiento lineal espacial como para el procesamiento lineal espacio-temporal.

15 En el resto de esta descripción de la presente invención, siempre que se mencione un vector de ponderaciones complejo valorado para recibir o transmitir  $w$ , o sus elementos, se entenderá que éstos pueden ser ponderaciones para el procesamiento espacial o puede ser generalizada para incorporar procesamiento espacio-temporal tal como se describió anteriormente para determinar la ponderación de la matriz  $W$ . Tanto el procesamiento espacial como el procesamiento espacio-temporal se indican así como procesamiento inteligente de adaptación de antena lineal. La invención, sin embargo, también es aplicable a estrategias de procesamiento no lineales, por ejemplo, las que utilizan el algoritmo de Viterbi con métrica de rama. La realización preferida de la invención puede ser convenientemente descrita por considerar los datos recibidos para ser de dos tipos: datos primarios, para los que una señal de referencia (o cualquier otra información de caracterización) está disponible, y datos secundarios, para los que una señal de referencia puede o no estar disponible. Los datos primarios son los datos que se utilizan en algunos procesos para determinar estrategias de procesamiento conocidas (*por ejemplo*, ponderación), y un objetivo de la invención es actualizar de manera adaptativa o mejorar el proceso mediante el uso de datos "secundarios", por ejemplo, datos más recientes, sin llevar a cabo todas las etapas de cálculo requeridas por el proceso conocido cuando se aplican a los datos primarios.

25 Por ejemplo, los datos secundarios pueden provenir de la carga de la ráfaga actual o de una ráfaga de datos futura (posiblemente en un nuevo canal). La fuente de la señal de referencia para los datos primarios depende del proceso para determinar la estrategia particular conocida (*por ejemplo*, ponderación) al que se aplica el procedimiento de la invención: podría ser, sin limitación, a partir de iteraciones del procedimiento CM anterior o de iteraciones DD, o datos de formación. Por lo tanto, la presente invención se refiere generalmente a un procedimiento cálculo de estrategias de procesamiento de antenas inteligentes de transmisión y recepción modificadas o adaptadas (*por ejemplo*, un procedimiento para determinar la ponderación) en el que se combina una cantidad de datos secundarios con los datos primarios antes de la ejecución del procedimiento de cálculo de la estrategia actual. Esto permite la incorporación de información adicional en los datos primarios antes de la ejecución del procedimiento de cálculo de estrategia en esos datos. En el caso de procesamiento lineal, el resultado es un conjunto actualizado de ponderaciones, que incorpora información acerca de cómo los datos secundarios se diferencian de los datos primarios, *por ejemplo*, cambios ocasionados por el entorno de interferencia, etc.

35 La realización preferida de la invención mejora un procedimiento para calcular una estrategia de procesamiento de enlace ascendente o enlace descendente que utiliza como entradas una señal de referencia y los datos de la señal de la antena recibidos y que tiene en cuenta el actual de interferencia presente en los datos de la señal de la antena recibida para mitigación de las interferencias. Tal como se conoce por parte de los técnicos, los procedimientos para determinar la estrategia de mitigación de interferencias, explícita o implícitamente usan una o más características de los datos de la antena recibidos. Dependiendo del procedimiento conocido, el conjunto de datos primarios, secundarios, o ambos, puede ser reducido de forma explícita a uno o más rasgos particulares característicos que el procedimiento conocido utiliza explícitamente para su cálculo. Por ejemplo, los procedimientos que utilizan la matriz de covarianza espacial o espacio-temporal de la entrada, los datos se pueden reducir a la matriz de covarianza espacial o espacio-temporal de los datos. Otros procedimientos se pueden basar en otras propiedades, y en esos casos los datos de la señal de entrada se puede reducir a la característica o propiedad particular que utiliza el procedimiento de estrategia conocida. Sin embargo, otros procedimientos, aunque implícitamente dependientes de las características que vienen (*por ejemplo*, la covarianza espacio-temporal) de la señal recibida, no requieren la estimación explícita de la característica, tal como la covarianza.

40 Como parte de la discusión siguiente se aplica tanto para recibir como para transmitir la estrategia, los subíndices "r" o "t" se omiten en cantidades tales como los vectores de ponderación  $w$ . Estos subíndices se pueden utilizar para identificar de forma explícita el procesamiento del enlace ascendente o el enlace descendente, y su adición quedará clara a partir del contexto para los expertos en la materia.

#### **Aplicación de la invención de un procedimiento de procesamiento basado en un(os) rasgo(s) característico(s)**

60 Varias realizaciones de la invención se pueden aplicar a una estrategia de procesamiento que incluye la determinación de la estrategia (*por ejemplo*, la ponderación) en la que se basan los cálculos para determinar la estrategia en el cálculo y la manipulación de uno o más rasgos característicos de los datos de la señal recibida. Un

ejemplo es cuando la determinación de la estrategia se basa en la determinación de las matrices de covarianza de los datos. Esta realización se describirá ahora con más detalle.

Sea  $Z$  la matriz de las señales de matriz de antenas recibidas, preferentemente, pero no necesariamente en banda de base. Sea  $s_1$  un vector de señal de referencia (1 por  $N_1$ ) de  $N_1$  muestras. Una señal de referencia  $s_1$  puede ser una secuencia de formación conocida, o, en los procedimientos de decisión dirigida, una señal construida para tener la misma estructura de modulación conocida que la señal transmitida mediante la unidad de abonado, o los procedimientos de restauración de propiedad, una señal que está limitada a tener la propiedad requerida. La técnica conocida de mínimos cuadrados (MSE) calcula las ponderaciones de enlace ascendente o enlace descendente solucionando el problema de minimización:

$$\mathbf{w} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{w}} \left\| \mathbf{w}^H \mathbf{Z} - \mathbf{s}_1 \right\|^2 = (\mathbf{R}_{zz})^{-1} \mathbf{r}_{zs} = (\mathbf{Z}\mathbf{Z}^H)^{-1} \mathbf{Z}\mathbf{s}_1^H, \quad (7A)$$

donde  $\mathbf{R}_{zz} = \mathbf{Z}\mathbf{Z}^H$  es la matriz de covarianza de las señales de la antena, y  $\mathbf{r}_{zs} = \mathbf{Z}\mathbf{s}_1^H$  es la correlación cruzada entre las señales de la antena y la señal de referencia. Por lo tanto, el cálculo de las ponderaciones requiere tener los datos correspondientes a las señales recibidas en los elementos de antena y una señal de referencia. En la práctica, esto típicamente implica la identificación de los datos de señal de referencia y su extracción a partir de una ráfaga de datos, formando la matriz de covarianza para las señales recibidas en la ráfaga de datos, formando el término de correlación cruzada, y solucionando las ponderaciones.

La presente invención modifica este proceso para determinar la ponderación mediante la incorporación de información derivada de las señales para las que una señal de referencia puede no estar disponible, proporcionando un conjunto actualizado de ponderaciones sin la sobrecarga de cálculo necesaria para procesar las señales que incluyen una señal de referencia. Así, por ejemplo, las etapas de identificación y extracción de los datos de la señal de referencia, que forman el término de covarianza para el primer conjunto de datos, y que forman el término de correlación cruzada para el primer conjunto de datos no se tendrán que repetir a la hora de actualizar las ponderaciones. Esto reduce significativamente las etapas de cálculo necesarias para proporcionar un nuevo conjunto de ponderaciones, mientras que resulta en mejoras en el procesamiento de los datos recibidos.

En la práctica, por ejemplo en un PHS móvil, debido a la potencia de cálculo limitada, sólo un pequeño número de las 960 muestras que constituyen una ráfaga de señal recibida se utilizan para determinar  $\mathbf{R}_{zz}^{-1}$ . Además, las muestras se determinan en los puntos de transmisión en lugar de ser muestreadas. Utilizando sólo un pequeño número de muestras para determinar la ponderación puede causar lo que se llama "sobreentrenamiento" en este documento: las ponderaciones se realizan bien en los datos que contienen la señal de referencia, pero no en los nuevos datos, es decir, mientras que las ponderaciones extraen la potencia de la señal deseada y resisten a las interferencias, las ponderaciones pueden no rendir adecuadamente en los nuevos datos. Una mejora de la técnica de mínimos cuadrados puede ayudar en esta situación, que incluye un proceso que se denomina "carga diagonal" (véase, por ejemplo, B.L. Carlson: "Errores de estimación de la matriz de covarianza y la carga diagonal en matrices de adaptación". Transacciones IEEE en Sistemas Aeroespaciales y Electrónicos, vol. 24, nº 4, julio de 1988), mediante el cual se añade un ajuste diagonal de la siguiente manera:

$$\mathbf{w} = (\mathbf{Z}\mathbf{Z}^H + \gamma \mathbf{I})^{-1} \mathbf{Z}\mathbf{s}_1^H, \quad (7B)$$

donde  $\gamma$  es un pequeño factor ajustable para mejorar el rendimiento de la solución de mínimos cuadrados mediante la reducción de la sensibilidad a las fluctuaciones estadísticas en  $\mathbf{Z}$ . Debe tenerse en cuenta que la carga diagonal es también un procedimiento para hacer frente a cualquier posible mal acondicionamiento de la matriz, es decir, la inversión de la matriz, posiblemente, convirtiéndose en un problema porque uno de sus valores propios es cero o cercano a cero.

El procedimiento de la presente invención modifica el enfoque anterior de la siguiente manera. Si  $\mathbf{Z}_1$  consiste en muestras de la señal recibida para las cuales una señal de referencia  $\mathbf{s}_1$  está disponible. En el contexto de la invención,  $\mathbf{Z}_1$  se conoce como datos primarios. Si  $\mathbf{Z}_2$  consiste en muestras de la señal recibida para las cuales una señal de referencia no está disponible (o al menos no se extrae), es decir, lo que se conoce como datos secundarios. La matriz  $\mathbf{Z}_1$  y el vector de la señal de referencia  $\mathbf{s}_1$  tienen el mismo número, por ejemplo  $N_1$  de columnas, siendo este el número de muestras en cada una de  $\mathbf{Z}_1$  y  $\mathbf{s}_1$ . Típicamente, este número, pero no necesariamente, es menor que el número total de muestras de entrada disponibles.

En una realización,  $\mathbf{Z}_1$  y  $\mathbf{Z}_2$  se pueden obtener de la misma ráfaga de datos, y la señal de referencia  $\mathbf{s}_1$  son los datos de formación incluidos en los datos de la señal recibida  $\mathbf{Z}_1$ . Debe tenerse en cuenta que esto no tiene por qué ser todos los datos de formación en  $\mathbf{Z}$ . En esta situación,  $\mathbf{Z}_1$  es la parte de la ráfaga de datos  $\mathbf{Z}$  que contiene los datos de formación  $\mathbf{s}_1$  y  $\mathbf{Z}_2$  es del resto de la ráfaga.

En una realización alternativa,  $\mathbf{Z}_1$  se obtiene de una ráfaga anterior que ya ha sido procesada para extraer una señal de referencia  $\mathbf{s}_1$ , mientras que  $\mathbf{Z}_2$  es de una nueva ráfaga de datos (probablemente después) que aún no ha sido procesada. Otras alternativas también son posibles. La realización preferida del procedimiento de la invención añade información de los datos secundarios a los datos primarios utilizados mediante el procedimiento de cálculo de procesamiento de la estrategia conocida (*por ejemplo*, la determinación de ponderación). En particular, la realización preferida de la invención calcula las ponderaciones actualizadas como:

$$\mathbf{w} = \left( \mathbf{Z}_1 \mathbf{Z}_1^H + \gamma \mathbf{I} + \beta \mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_2^H \right)^{-1} \mathbf{Z}_1 \mathbf{s}_1^H,$$

donde  $\beta$  es un factor de ajuste. Preferiblemente,  $\beta$  se determina lo suficientemente grande como para hacer que la ponderación responda a las interferencias que están presentes en los datos secundarios  $\mathbf{Z}_2$ , aunque no tan grande como para degradar el rendimiento de las ponderaciones cuando ninguna interferencia nueva está presente en los datos secundarios. Esta limitación proporciona un medio de prueba de la conveniencia de los diferentes valores de  $\beta$ , tal vez de manera iterativa.

Una manera de determinar si las ponderaciones han respondido adecuadamente a la interferencia es la aplicación de las ponderaciones a los datos terciarios que contienen una señal deseada (con la misma estructura que la señal en  $\mathbf{Z}_1$  que corresponde a la señal de referencia) y una señal de interferencia (con la misma estructura que la interferencia presente en  $\mathbf{Z}_2$ ). La calidad de la señal resultante puede ser estimada y se toma como una medida del rendimiento de rechazo de interferencias de un valor particular de  $\beta$ . Son conocidos procedimientos de medición y de estimación de la calidad de la señal, y un procedimiento y un aparato de estimación de la señal mejorada se describen en la solicitud de patente US no. 09/020,049 de Yun titulada "CONTROL DE LA POTENCIA CON ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DE LA SEÑAL PARA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE ANTENAS INTELIGENTES", a nombre del titular de la presente invención.

Del mismo modo, una manera de determinar si un valor de  $\beta$  genera ponderaciones con rendimiento degradado en ausencia de nuevas interferencias es la aplicación de las ponderaciones a  $\mathbf{Z}_1$  y estimar la calidad de la señal resultante. En la realización preferida que se aplica a PHS, una pérdida promedio de la calidad de la señal de menos de 1,0 dB respecto a  $\beta = 0$  se considera aceptable.

En la realización preferida PHS, el valor de  $\beta$  se determina en 1/16. Eligiendo  $\beta$  igual a una potencia de 2 se simplifica la implementación del procedimiento. La configuración óptima para  $\beta$  depende de una serie de factores, incluyendo pero no limitado al objetivo de relación señal-interferencia más ruido (SINR) necesaria para la demodulación exitosa, el número de muestras de datos disponibles en  $\mathbf{Z}_1$  y  $\mathbf{Z}_2$ , y si se utilizarán o no iteraciones adicionales para modificar las ponderaciones.

Un buen ajuste para  $\beta$  se puede determinar experimentalmente. Por otra parte,  $\beta$  se pueden seleccionar para ser lo suficientemente pequeño para que la potencia de cualquiera de los componentes de la señal deseada en  $\beta \mathbf{Z}_2$  sea más pequeña que la potencia de ruido en  $\mathbf{Z}_1$ . Según esta directriz, que ayuda a preservar la calidad de la señal en ausencia de un entorno de interferencias cambiantes, mayor es el SINR objetivo y más pequeño debe ser  $\beta$ . Por el contrario,  $\beta$  debe ser lo suficientemente grande como para permitir que el procedimiento de generación de la estrategia reconozca y responda a las interferencias. En la realización preferida de mínimos cuadrados, la sensibilidad de las ponderaciones a las interferencias aumenta con el número de muestras en  $\mathbf{Z}_1$ , por lo que  $\beta$  se puede reducir como el número de muestras que crece.

Una aplicación del procedimiento de determinación de ponderaciones que incorpora los efectos de los datos secundarios es proporcionar una estrategia inicial para su uso en un procedimiento iterativo para determinar la estrategia. En un sistema que se comunica por ráfagas, tal como el sistema PHS de las realizaciones preferidas, un procedimiento iterativo puede ser utilizado para la determinación de la ponderación, uno en el estado de la técnica, los valores iniciales de las ponderaciones pueden ser las ponderaciones determinadas por la ráfaga anterior. El uso de cualquiera de las realizaciones descritas en este documento, el valor inicial utilizado puede ser mejorado teniendo en cuenta los nuevos datos (secundarios) para producir un conjunto inicial mejorado de ponderaciones.

Cuando son empleadas otras iteraciones (*por ejemplo*, utilizando el mismo procedimiento de cálculo de ponderación que en la primera iteración, preferentemente con  $\beta = 0$ , o alternativamente, con un procedimiento de cálculo de la ponderación iterativa completamente diferente), un valor inicial mayor de  $\beta$  puede ser seleccionado. Esto aumentará el rendimiento de rechazo a la interferencia a expensas de la calidad de la señal disminuida cuando el entorno de interferencia no cambia. La pérdida en la calidad de la señal será revertida por las iteraciones posteriores. Una limitación útil en  $\beta$ , entonces, es que la calidad de la señal después de la primera iteración sea lo suficientemente alta como para permitir que las iteraciones posteriores converjan rápidamente. Las condiciones exactas para la convergencia dependerán del procedimiento iterativo.

Muchas de las modificaciones al procedimiento son posibles y están comprendidas en el alcance de este aspecto de la presente invención. En general, cualquier procedimiento de procesamiento de enlace ascendente (*es decir*, de recepción) que utiliza como entrada una característica o características que, por ejemplo, podrían ser la covarianza

espacial (o espacio-temporal), o la covarianza ciclo-estacionaria espacio-temporal, pueden ser modificadas. La **figura 3** muestra un procedimiento y un aparato de ponderación determinante, que está marcado como técnica anterior y es sólo técnica anterior sin las modificaciones descritas en este documento. El rasgo o rasgos característicos utilizados mediante el procedimiento de cálculo de la estrategia **305** (*por ejemplo*, ponderación) se extrae de los datos primarios  $Z_1$  mediante el estimador de característica(s) **303**. El procedimiento de cálculo de la estrategia **305** utiliza la característica o características de estimación, junto con los datos primarios y la señal de referencia. Debe tenerse en cuenta que en algunos casos, puede ser necesario determinar la señal de referencia a partir de los datos primarios, y este proceso de extracción de la señal de referencia se muestra en la **figura 4**. El proceso de extracción de la señal de referencia puede ser un proceso para limitar los datos que tienen una propiedad particular, o puede ser recordar los datos de formación de la memoria que se sabe que están en los datos primarios. La señal de referencia también podrá exigir un procesamiento de antena inteligente adaptativa para estimar una señal a partir de las señales recibidas en la antena, y todas estas realizaciones se incorporan en el diagrama de bloques general de la **figura 4**. A partir de ahora, cada vez que una señal de referencia se expone a continuación debe entenderse que un proceso de extracción de la señal de referencia puede incluirse en el proceso de determinación de la estrategia global, se muestre de forma explícita o no.

Un aspecto de la invención, que incluye la modificación de un procedimiento de determinación de la estrategia basado en la(s) característica(s) se muestra en la **figura 5**, donde el rasgo o rasgos característicos estimados utilizados por el procedimiento de cálculo de la estrategia **505** son modificados mediante un estimador de rasgos característicos y un combinador **503** para incorporar la información obtenida de los datos secundarios denotados  $Z_2$ . La combinación del bloque **503** preferiblemente se parametriza, por ejemplo, mediante un factor ajustable  $\beta$  para producir un(os) rasgo(s) característico(s) modificado(s) que incluyen una cantidad ajustable de información de los datos secundarios y se introducen en el bloque de cálculo de la estrategia **503**. Una realización de la disposición de la **figura 5** se muestra en la **figura 6**, en el que los datos secundarios y los datos primarios se introducen en los respectivos estimadores de rasgo(s) característico(s) **603** y **605**, respectivamente, y los rasgos característicos resultantes de los datos primarios y secundarios, respectivamente, se combinan mediante un combinador **607** de acuerdo con

Característica\_caracter\_modificado = Característica\_caracter\_modificado1 +  $\beta$  Característica\_caracter\_modificado2, donde los subíndices 1 y 2 denotan datos primarios y secundarios, y  $\beta$  es un factor de ajuste.

Como un ejemplo de una aplicación típica del procedimiento de la invención, se busca asumir una mejora en un esquema conocido que determina las ponderaciones de enlace descendente a partir de datos obtenidos a partir de una ráfaga anterior. Se desea introducir un procedimiento de mitigación de interferencias sobre la base de datos recibidos en la ráfaga presente (los datos secundarios). Sin embargo, asumir que no está disponible suficiente potencia de cálculo para llevar a cabo completamente el cálculo requerido mediante la parte de determinación de la ponderación recibida del esquema conocido (o para propósitos de velocidad de cálculo, es deseable tener un procedimiento de actualización de las ponderaciones recibidas sin llevar a cabo todo el cálculo).

Otra aplicación de procedimiento de la invención es un protocolo de interfaz aérea que soporta el concepto de "transmisión discontinua", para la que no se transmiten ráfagas durante los períodos de inactividad de voz. Para estas interfaces aéreas, la señal de usuario deseada y las señales de interferencia se reciben de forma intermitente; algunas ráfagas contienen solamente la señal de usuario deseada, algunas ráfagas contienen sólo fuentes de interferencia, y algunas ráfagas contienen ambas o ninguna. Como otro factor que complica aún más, la decisión de transmitir una señal al usuario deseado en una ráfaga dada puede ser independiente de si la ráfaga anterior recibida contiene una señal de ese usuario. Una estrategia útil para la transmisión de enlace descendente en estas condiciones consiste en dirigir un haz hacia el usuario deseado y dirigir nulos a todas las fuentes de interferencia que se recibieron durante las últimas ráfagas, por ejemplo,  $N_T$  ráfagas. Las ponderaciones de enlace descendente que sustancialmente implementan esta estrategia pueden calcularse mediante el establecimiento de  $Z_1$  igual a la última ráfaga recibida que contiene una señal del usuario deseado, y estableciendo  $Z_2$  igual a la concatenación de ráfagas en las últimas  $N_T$  ráfagas que no contienen una señal del usuario deseado. En una implementación alternativa simplificada,  $Z_2$  se establece igual a la concatenación de las  $N_T$  ráfagas más recientes, independientemente de si contienen la señal del usuario deseado o no. Por lo tanto, en esta implementación, los datos primarios incluyen los datos recibidos de la señal cuando el usuario remoto está transmitiendo datos a la estación inalámbrica, de modo que la estrategia de procesamiento de antenas inteligentes dirige un haz hacia el usuario remoto y dirige nulos hacia interferentes que se incluyen en los datos secundarios.

En resumen, en un aspecto, el procedimiento de la invención está diseñado para actualizar un proceso de cálculo de estrategia de antenas inteligentes (*por ejemplo*, determinar la ponderación) para tener en cuenta un cambio del entorno operativo (*por ejemplo*, la presencia de fuentes de señales de interferencia que pueden variar entre los datos primarios y secundarios) mediante la introducción de información sobre los datos secundarios en el término utilizado mediante el procedimiento de cálculo de estrategia que depende de los datos primarios.

Así, en todas las realizaciones de la invención que se describen, se utiliza un proceso conocido para determinar la estrategia (*por ejemplo*, ponderación) que calcula una estrategia de enlace ascendente o enlace descendente basada en una señal de referencia, que se denota  $s_1$ , y en las entradas de la señal recibida, por ejemplo, los datos primarios  $Z_1$ , a partir de los elementos de la matriz de antenas. El procedimiento de cálculo de la estrategia incluye la

mitigación de interferencias, es decir, tiene en cuenta el entorno de interferencia en los datos primarios  $Z_1$ . Este procedimiento para determinar la estrategia se muestra en la **figura 11**. La **figura 11** está marcada como técnica anterior, pero es sólo técnica anterior sin las modificaciones descritas en este documento. La señal de referencia se extrae normalmente de un primer conjunto de datos tal como se muestra en la **figura 4** (este caso incluyendo que datos de formación están incluidos en el primer conjunto de datos). La **figura 3** es un caso del sistema de la **figura 11** en el que el procedimiento utiliza de forma explícita como una entrada al menos uno de los rasgos característicos de la primera serie de datos, de manera que en la **figura 3**, el primer conjunto de datos es también operado para obtener uno o más rasgos característicos (por ejemplo, la covarianza, los principales componentes de la matriz de covarianza, una característica particular de los datos, etc.) de los datos, que luego son explícitamente utilizados en el procedimiento conocido de determinación de la estrategia (por ejemplo, la ponderación). La estrategia de cálculo conocida preferentemente tiene dos propiedades: 1) incluye la mitigación de interferencias, es decir, reduce la sensibilidad a una fuente de interferencias mediante la reducción de la potencia recibida o transmitida a un usuario remoto de interferencia (colocación de nulos), y 2) una fuente de de la señal de interferencias o de destino aproximadamente colineal con (es decir, que es de un usuario remoto que tiene sustancialmente la misma firma) la fuente de señal deseada o destino no afecta sustancialmente a los resultados de la estrategia calculada. Estas propiedades son comunes, por ejemplo, en los procedimientos de referencia basados en la señal que calculan una estrategia que trata de maximizar el SINR.

De acuerdo con la presente invención, las entradas para el procedimiento de cálculo de estrategia conocido son modificadas para ser la señal de referencia de la primera serie de datos y una combinación formada por el primer conjunto de datos y un segundo conjunto de datos tal como se muestra en la **figura 12**. La **figura 5** es una realización del sistema de la **figura 12**, que es una modificación del sistema de la figura 3, mientras que la **figura 6** es un perfeccionamiento del sistema que se muestra en la **figura 5**.

Aplicando el sistema de la **figura 6** para el caso de que la estrategia sea un proceso de adaptación lineal de acuerdo con un conjunto de ponderaciones, y siendo el procedimiento de cálculo de la estrategia un procedimiento para

determinar la ponderación que utiliza explícitamente la matriz de covarianza espacial  $R_{zz} = Z_1 Z_1^H$  calculada a partir de datos primarios  $Z_1$ , una realización específica implementa el procedimiento de la invención mediante la modificación de este procedimiento de determinación de la ponderación mediante la alteración del término de la matriz de covarianza espacial  $R_{zz}$  para incorporar información obtenida de los datos secundarios. Una modificación de este tipo produce una matriz de covarianza espacial actualizada (es decir, modificada) mediante:

$$\tilde{R}_{zz} = (Z_1 Z_1^H + \beta Z_2 Z_2^H)$$

donde  $Z_2$  es los datos secundarios y  $\beta$  es un factor de ajuste. Debe tenerse en cuenta que en la realización preferida, el procedimiento para determinar la ponderación a la que se aplica la invención utiliza como entrada una

matriz de covarianza espacial  $R_{zz} = Z_1 Z_1^H$  calculada a partir de datos primarios  $Z_1$  y una correlación cruzada de señal de referencia  $r_{zs} = Z_1 s_1^H$ , que también se calcula a partir de datos primarios.

La **figura 7** es un diagrama de bloques que ilustra algunas de las operaciones de procesamiento de señal aplicadas a los datos recibidos cuando se implementa una primera realización del procedimiento de la invención basada en la covarianza. En la figura, se supone que el procedimiento para determinar la ponderación que se utiliza es uno que utiliza covarianzas para determinar ponderaciones espaciales (o espacio-temporales), por ejemplo, ponderaciones de enlace ascendente, o alternativamente ponderaciones de enlace descendente, para una operación de copia de señal con los datos secundarios, o con datos nuevos (por ejemplo, futuros), conocidos como datos terciarios.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el esquema conocido se modifica de modo que los valores de ponderación actualizados incorporan la mitigación de interferencia usando los datos recibidos en la presente ráfaga. El cálculo de la invención requerido incluye la estimación de la covarianza de los datos secundarios y la adición de una fracción ajustable a la estimación de la covarianza determinada a partir de los datos primarios. Tal como se muestra en la **figura 7**, los datos primarios se procesan para estimar su covarianza,  $R_{ZZ1}$ . Los datos secundarios se procesan para estimar su covarianza,  $R_{ZZ2}$ . La covarianza derivada de los datos secundarios se escala mediante el factor de ajuste,  $\beta$  para formar  $\beta R_{ZZ2}$ . Este producto se añade al término de covarianza  $R_{ZZ1}$  para obtener la entrada del término de covarianza ( $R_{ZZ1} + \beta R_{ZZ2}$ ) para el procedimiento de determinación de ponderación. Debe tenerse en cuenta que, como también se muestra en la figura, una señal de referencia (sobre la base de los datos primarios) se introduce en el procedimiento para determinar la ponderación.

Debe tenerse en cuenta que otras modificaciones de la matriz de covarianza también son posibles y están incluidas en el alcance de la invención. Por ejemplo, tal como se muestra en la **figura 8**, la cantidad añadida a  $R_{ZZ1}$

alternativamente puede ser  $\beta p p^H$ , donde  $p$  es el componente principal (mayor valor propio) de  $Z_2 Z_2^H$ . Este

enfoque es útil cuando las señales de un interferidor pueden estar presentes en los datos secundarios. En otra

alternativa, la cantidad añadida a  $\mathbf{R}_{ZZ1}$  es la proyección de  $\mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_2^H$  sobre el subespacio definido por los pocos valores propios mayores de  $\mathbf{R}_{ZZ2}$ , por ejemplo mediante el uso de un subespacio generado por los primeros

5 componentes principales  $P$  de  $\mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_2^H$ . Este procedimiento añade nulos en el subespacio definido por los interferentes  $P$  más fuertes en los datos secundarios, y actúa para añadir nulos en las direcciones de los interferentes más fuertes  $P$  en los datos secundarios.

En otra alternativa, en lugar de introducir los datos primarios y secundarios mediante la adición de una parte escalable de la matriz de covarianza secundaria en la primera matriz, podrían ser utilizados otros procedimientos de combinación de las contribuciones de los dos conjuntos de datos y estos procedimientos de combinación no aditivos también están dentro del alcance de la presente invención. A modo de ejemplo, se describen a continuación un procedimiento para combinar que incluye la realización de una factorización de la matriz de los datos primarios y los datos secundarios en factores, y luego la combinación de los factores resultantes de uno de varios procedimientos para formar una matriz de covarianza combinada. La factorización utiliza la descomposición generalizada de valores singulares (SVD). Como es bien conocido (véase, por ejemplo, Teorema 8.7.4 en G.H. Golub y Charles F. Van Loan: Cálculos de matrices, 3ª ed. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1996), existe una matriz invertible  $\mathbf{X}$  ( $M$  por  $M$ ) y matrices unitarias  $\mathbf{U}_1$  y  $\mathbf{U}_2$  ( $N$  por  $M$ ) que a la vez diagonalizan los datos primarios de la matriz  $\mathbf{Z}_1$  ( $M$  por  $N$ ) y los datos secundarios de la matriz  $\mathbf{Z}_2$  ( $M$  por  $M$ ), es decir,

$$\mathbf{X} \mathbf{Z}_1 \mathbf{U}_1 = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_M)$$

$$\mathbf{X} \mathbf{Z}_2 \mathbf{U}_2 = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_M),$$

20 donde  $\text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_M)$  indica una matriz ( $M$  por  $M$ ), que tiene entradas diagonales  $\lambda_1, \dots, \lambda_M$ , y tiene ceros en el resto. La matriz de covarianza modificada puede calcularse como

$$\mathbf{R}_{ZZ} = \mathbf{X}^{-1} \text{diag}(\max(|\lambda_1|^2, \beta |\sigma_1|^2), \max(|\lambda_2|^2, \beta |\sigma_2|^2), \dots, \max(|\lambda_M|^2, \beta |\sigma_M|^2)) \mathbf{X}^{-1H},$$

donde  $\max(a, b)$  denota el máximo de  $a$  y  $b$ .

Muchos otros procedimientos de combinación de los factores son posibles, por ejemplo, el  $\max(a, b)$  puede ser reemplazado por alguna operación general "combinar ( $a, b$ )", donde  $a$  y  $b$  y los factores combinados, en este caso, el cuadrado de la magnitud de los factores. Por ejemplo, la operación  $\max(|\lambda_i|^2, \beta |\sigma_i|^2)$  puede ser reemplazada con un promedio geométrico generalizado  $(|\lambda_i|^2(1-\beta)|\sigma_i|^2\beta)$ . Todas estas generalizaciones pueden ser descritas mediante el diagrama de bloques de la **figura 9A**, donde el bloque denominado "estimador y combinador de la covarianza" actúa para formar alguna combinación general de los datos primarios y secundarios para formar una covarianza modificada. La covarianza modificada se utiliza en el procedimiento de determinación de la estrategia (por ejemplo, ponderación).

Un combinador general alternativo, que puede considerarse un caso especial del de la **figura 9A**, se muestra en la **figura 9B**. En esta versión, se obtiene la estimación de la covarianza de los datos primarios y secundarios, y un combinador (en general, un combinador no aditivo) es la covarianza modificada, con un parámetro  $\beta$  que determina las cantidades relativas. Por ejemplo, el combinador podría formar una factorización de la matriz de cada una de las estimaciones de covarianza y luego se combinan los factores resultantes de cualquiera de los procedimientos de combinación actores "combinar ( $a, b$ )" que se han descrito anteriormente, donde en el caso de que los factores sean matrices de covarianza, no hay ningún valor absoluto y término cuadrado, como sería evidente para un experto en la materia.

Los procedimientos de procesamiento de enlace ascendente también se sabe que usan de la matriz de covarianza de ruido más interferencia, que se denota  $\mathbf{R}_{vv}$ , más que la matriz de covarianza ruido más de interferencia más señal  $\mathbf{R}_{ZZ}$ . Estos procedimientos incluyen el uso de un estimador de covarianza de ruido más interferencia, que utiliza datos primarios (que contienen la señal más interferencia más ruido) y una señal de referencia basada en los datos primarios, o en el que se basa la información primaria, para determinar  $\mathbf{R}_{vv}$ . Una realización de la invención se utiliza con este procedimiento de procesamiento que se muestra en forma de diagrama de bloques en la **figura 10**, que muestra una realización del procedimiento de la invención aplicado a estas técnicas basadas en  $\mathbf{R}_{vv}$ , con  $\mathbf{R}_{vv}$  sustituido por  $\mathbf{R}_{ZZ}$ . Tal como se muestra en la figura, para  $\mathbf{R}_{vv}$  obtenido a partir de datos primarios, una modificación descrita por:

$$\tilde{\mathbf{R}}_{vv} = (\mathbf{R}_{vv} + \beta \mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_2^H)$$

se hace, donde de nuevo  $\beta$  es un parámetro ajustable. Modificaciones alternativas tal como se mencionaron anteriormente también se pueden hacer a  $\mathbf{R}_{vv}$  utilizando, por ejemplo, los componentes principales de los datos secundarios o algún otro medio de combinación diferente de la adición de una porción ajustable de  $\mathbf{R}_{zz}$ .

5 **El procedimiento de inyección de señal**

Otra realización de la presente invención es aplicable a técnicas de determinación de la estrategia de procesamiento (por ejemplo, ponderación) que no necesariamente de forma explícita calculan cualquier estimación de una o más características en las que se basa el procedimiento de cálculo de la estrategia, por ejemplo, no estiman explícitamente las matrices de covarianza espaciales (o espacio-temporales) tales como  $\mathbf{R}_{vv}$  o  $\mathbf{R}_{zz}$ . Esta realización, sin embargo, también es aplicable a esos procedimientos, que explícitamente calculan las estimaciones, tales como los procedimientos basados en la matriz de covarianza.

El diagrama de bloques general de la **figura 11** se aplica a este procedimiento, y la modificación del procedimiento de acuerdo con un aspecto de la invención es tal como se muestra en la **figura 12**.

Las realizaciones de "inyección de la señal" descritas a continuación toman ventaja de la propiedad común del procedimiento de cálculo de estrategia conocido que cualquier señal colineal - el usuario deseado no afecta sustancialmente a la estrategia de enlace ascendente o enlace descendente. Se considera la posibilidad de una señal adicional sobre la base de datos secundarios  $\mathbf{Z}_2$  inyectados (con algún parámetro ajustable, por ejemplo  $\beta$ ) en la señal primaria  $\mathbf{Z}_1$  (formando así un término de la forma,  $\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}\beta_2$ ). Típicamente, la señal inyectada tendrá los componentes de interferencia y los componentes del transmisor remoto del usuario deseado, pero, como es un dato secundario, la señal de referencia (del usuario deseado) no es de este dato secundario. Por lo tanto, incluso la parte deseada de la señal inyectada aparece como una interferencia que es colineal con la señal deseada. Sin embargo, como el mínimo error al cuadrado (MSE) o rendimiento SINR de la estrategia de enlace ascendente no se ve afectado sustancialmente por una interferencia colineal a la señal deseada, un procedimiento de cálculo de estrategia que trata de maximizar el SINR no debe cambiar sustancialmente su estrategia (por ejemplo, sus determinaciones de ponderación) en respuesta a los componentes del usuario deseado en la señal superpuesta (pero sólo en respuesta a los componentes que soportan la interferencia).

Debe tenerse en cuenta que un "procedimiento que calcula una estrategia de enlace ascendente" se refiere a un procedimiento que funciona de la siguiente manera. Las entradas para el procedimiento son muestras de la señal recibida y de una señal de referencia. La salida del procedimiento es una estrategia de procesamiento de enlace ascendente, o un conjunto de parámetros que definen la estrategia. Preferentemente, la estrategia de enlace ascendente es lineal de filtrado para producir una señal de copia, seguida de demodulación de decisión dirigida, donde se describe mediante  $s = \mathbf{w}^H \mathbf{Z}$  para el caso de procesamiento espacial de enlace ascendente, y los parámetros son los filtros lineales necesarios (que comprenden un vector de ponderación  $\mathbf{w}$  para el caso de procesamiento espacial o espacio-temporal). Véase, por ejemplo, la solicitud de patentes en copropiedad US no. 09/153,110, titulada "PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE SEÑALES DE REFERENCIA EN PRESENCIA DE COMPENSACIONES DE FRECUENCIA EN UNA ESTACIÓN DE COMUNICACIONES CON PROCESAMIENTO ESPACIAL" de Petrus, et al., del mismo titular de la presente invención.

Estrategias alternativas no lineales de enlace ascendente incluyen la detección de secuencias de Viterbi, utilizando métricas de rama calculadas a partir de una matriz de covarianza de ruido más interferencia, siendo los parámetros en este caso una estimación de matriz de covarianza de ruido más interferencia. A continuación se muestra cómo el procedimiento conocido de detección de secuencia de Viterbi puede ser aplicado a la estrategia de determinación. Supongamos que la forma de onda de comunicación  $s(t)$  es un alfabeto finito, por ejemplo, QAM, PSK, DQPSK, etc. Un modelo común para las señales de antena recibidas es

$$\mathbf{z}(t) = \begin{bmatrix} a_1(t) \\ a_2(t) \\ \vdots \\ a_M(t) \end{bmatrix} * s(t) + \mathbf{v}(t) = \mathbf{a}(t) * s(t) + \mathbf{v}(t)$$

45 donde  $\mathbf{a}(t)$  es la firma espacio-temporal y  $\mathbf{v}(t)$  es el ruido más interferencia combinado. Tal como se mencionó anteriormente en este documento, el modelo puede simplificarse a una ecuación vectorial

$$\mathbf{Z} = \mathbf{a} \mathbf{s} + \mathbf{v}.$$

Como se sabe, en esta asunción de modelo, un detector de secuencia de probabilidad máxima se puede construir de la siguiente manera cuando uno asume, además, que  $\mathbf{v}$  puede ser temporalidad modelada como ruido blanco. Debe tenerse en cuenta que el procedimiento descrito no depende de esta asunción de ruido blanco; el receptor simplificado que sería ML bajo la asunción de ruido blanco todavía funciona bien en el caso práctico más general de  $\mathbf{v}$ , no ruido blanco. El procedimiento se desarrolla como sigue:

1. Estimar el vector de firma  $\hat{\mathbf{a}}$  usando, por ejemplo, el criterio de máxima probabilidad. La solución es conocida

$$\hat{\mathbf{a}} = \mathbf{Z} \mathbf{s}_R^H \left( \mathbf{s}_R \mathbf{s}_R^H \right)^{-1}$$

donde  $\mathbf{s}_R$  es la señal de referencia para la señal  $\mathbf{Z}$ .

2. Utilizando la señal de referencia, y la firma estimada  $\hat{\mathbf{a}}$ , estimar la matriz de covarianza espacial (ruido más interferencias)  $\mathbf{R}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}$ . Por ejemplo, la primera estimación del ruido más interferencia  $(\mathbf{Z} - \hat{\mathbf{a}} \mathbf{s})$  y luego usar  $\mathbf{R}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = (\mathbf{Z} - \hat{\mathbf{a}} \mathbf{s})^H (\mathbf{Z} - \hat{\mathbf{a}} \mathbf{s})$ .

3. Usar  $\mathbf{R}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}$  para blanquear espacialmente el ruido más interferencia con un procedimiento de "raíz cuadrada". Es decir, formar

$$\tilde{\mathbf{Z}} = \mathbf{R}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}^{-1/2} \mathbf{Z}.$$

Como resultado de esta operación, el canal de formación de la señal blanqueada puede ser modelado como

$$\tilde{\mathbf{Z}} = \tilde{\mathbf{a}} \mathbf{s} + \tilde{\mathbf{v}},$$

donde  $\tilde{\mathbf{v}} = \mathbf{R}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}^{-1/2} \mathbf{v}$  es a la vez ruido blanco espacial y temporal, y  $\tilde{\mathbf{a}} = \mathbf{R}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}^{-1/2} \hat{\mathbf{a}}$ .

El problema ha sido ahora corregido como un problema de detección estándar de múltiples sensores en ruido blanco en las que las técnicas estándar de detección de secuencia se pueden utilizar, tal como el algoritmo de Viterbi con métricas de rama apropiadas. Véase, por ejemplo, J.W. Modestino y V.M. Eyuboglu, "Estructuras de receptor de múltiples elementos integradas para canales de interferencia distribuidos espacialmente", Transacciones IEEE sobre teoría de la información, vol. IT-32, No. 2, páginas 195-219, marzo de 1986, para una descripción de estos procedimientos no lineales. Queda claro que además los procedimientos de recuperación de temporización, corrección de fase y frecuencia, y corrección de errores, pueden combinarse ventajosamente con la detección de secuencias.

Una implementación de un procedimiento de inyección de señal se muestra en el diagrama de bloques de la figura 13. Tal como se muestra en la figura, preferentemente, el procedimiento de determinación de la estrategia conocida de enlace ascendente o enlace descendente (por ejemplo, ponderación de recepción o transmisión), cuando se aplica a sistemas que transmiten y reciben datos por ráfagas, calcula la estrategia de enlace ascendente o enlace descendente de la presente ráfaga mediante el uso de entradas de matriz de antenas (con la etiqueta "datos primarios") y una señal de referencia de una ráfaga o ráfagas pasadas. De acuerdo con un aspecto de la presente invención, las entradas de matriz pasadas (en general cualquier dato primario) son modificadas mediante la adición de una versión escalada de las entradas de la presente matriz (en general, cualquier dato secundario) a las entradas de matriz pasadas antes de calcular la estrategia. Por lo tanto, en este caso la "señal" de entrada que se utiliza como parte del cálculo para determinar la ponderación (junto con la señal de referencia) es una combinación lineal de los datos primarios y secundarios (por ejemplo,  $\text{datos}_{\text{primarios}} + \beta \text{datos}_{\text{secundarios}}$ ).

Debe tenerse en cuenta que en algunas circunstancias, el procedimiento que se muestra en la **figura 13** puede necesitar un bloque funcional adicional que no se muestra para hacer frente a la situación cuando la cantidad de datos primarios y secundarios es diferente, por ejemplo, hay menos datos secundarios que datos primarios. En tal caso, la cantidad de datos primarios se puede reducir para ser igual a la cantidad de datos secundarios, o la cantidad de datos secundarios se puede ampliar, por ejemplo, mediante repetición de datos. El criterio principal para ampliar los datos (primarios o secundarios, el que sea menor en cantidad) es mantener cualquier propiedad ("rasgo característico" o "rasgos característicos") de los datos que es utilizada por el procedimiento de generación de la estrategia. Aunque este bloque de compensación de la cantidad de datos no se muestra en la **figura 13**, quedaría claro para los expertos en la materia cómo incluir este bloque como parte del procedimiento de la invención cuando sea necesario.

Debe tenerse en cuenta que la inyección que se muestra es además porque es la más simple de implementar. Variaciones son claramente posibles cómo se inyecta una cantidad variable de la señal secundaria. Por ejemplo, si

algún otro, por ejemplo, medios de combinación no aditivos que ya están disponibles, por ejemplo para otros fines, entonces sería ventajoso utilizar unos medios de combinación para inyectar la señal en lugar de un añadido. Estas variaciones se encuentran dentro del alcance de la invención, y la forma de incluir estas variaciones sería evidente para los expertos en la materia.

5 Una generalización de este procedimiento se muestra en la **figura 14**. Esto, por ejemplo, puede ser una forma alternativa de tratar con cantidades de datos desiguales. También se puede utilizar como un procedimiento de reducción de datos. La realización de la **figura 14** incluye una función de extractor que actúa sobre los datos secundarios, extrayendo la característica o características en las que se basa el generador de estrategias de enlace ascendente (o descendente). Por ejemplo, este podría ser la covarianza espacial (o espacio-temporal), o la covarianza ciclo-estacionaria espacio-temporal. La implementación, en general, incluye un sintetizador de señal que genera una señal (*por ejemplo*, una señal sintética) que tiene sustancialmente la misma característica o características que usa el generador de estrategias (implícita o explícitamente) como los datos secundarios. La señal generada, por ejemplo, puede ser una señal aleatoria. La señal generada debe tener las mismas propiedades espacio-temporales como los datos secundarios (*por ejemplo*, las presentes entradas de matriz), medidos, por ejemplo, mediante la matriz de covarianza empírica. Una ventaja de este procedimiento es que el hardware o el software existente no puede fácilmente adaptarse a la copia de una señal potencialmente grande de un lugar a otro, en cuyo caso podría ser más rápido transmitir simplemente la covarianza a un procesador secundario. Debe tenerse en cuenta que la característica extraída pueden ser los propios datos secundarios, en cuyo caso el sintetizador de señal es trivial, y la implementación de la **figura 14** se reduce a la de la **figura 13**.

20 El procedimiento de inyección de señal puede ser utilizado en cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente. En cualquiera de estas, la señal inyectada puede ser una fracción de los datos secundarios, o datos generados sintéticamente que tienen las mismas propiedades espacio-temporales que los datos secundarios. La **figura 15** es un diagrama de bloques que muestra una realización del procedimiento de la invención aplicado a un generador de procesamiento de estrategias que utiliza una señal de referencia, datos primarios, y una estimación de la covarianza, con la estimación de la covarianza modificada para incluir los efectos de mitigación de interferencias de la señal secundaria. Esto se logra mediante el uso de una versión inyectada de los datos (*es decir*, una combinación lineal de los datos primarios y secundarios) para la estimación de la covarianza en lugar de los datos primarios por sí mismos.

30 La **figura 16** es un diagrama de bloques que muestra una realización del procedimiento de la invención en un generador de estrategias de procesamiento que utiliza una señal de referencia, datos primarios, y un estimador de covarianza de ruido más interferencia (que utiliza los datos primarios y la señal de referencia para estimar la covarianza de ruido más interferencia). Este cálculo se puede modificar tal como se muestra para incluir los efectos de mitigación de la interferencia de la señal secundaria mediante el uso de una versión inyectada de la señal de los datos (*es decir*, una combinación lineal de los datos primarios y secundarios) para la estimación de la covarianza de ruido más interferencia, en lugar de los propios datos primarios.

40 La **figura 17** es un diagrama de bloques que muestra una realización del procedimiento de la invención aplicado a un generador de estrategia no lineal, donde el generador de estrategia incluye una etapa de demodulación. Este puede ser un decodificador basado en el algoritmo de Viterbi, que opera sobre la base de métricas de rama, por ejemplo. La invención se muestra suministrando una covarianza modificada de ruido más interferencia, con la modificación basada en la inyección de datos secundarios a un demodulador que se aplica a algunos datos nuevos, conocidos como "datos terciarios". Es evidente que el demodulador podría operar en cualquier dato para los que los datos secundarios proporcionan una buena información de formación de haces, incluyendo los propios datos secundarios. Es decir, como el demodulador utiliza términos de covarianza, los datos terciarios se refieren a cualesquiera datos que tienen una estructura de covarianza sustancialmente similar a los datos secundarios. El demodulador, en este caso, puede ser un demodulador basado en el algoritmo de Viterbi, en el que la información de la covarianza se utiliza para "blanquear" (*es decir*, descorrelacionar) los datos de entrada, en este caso, los datos terciarios. En una alternativa, los datos de referencia también podrían ser utilizados para estimar el canal, y proporcionarse en la forma requerida para el procedimiento de Viterbi en el demodulador.

50 Debe indicarse que aunque los procedimientos de inyección de señal preferentemente implican la adición de una fracción de la señal secundaria (o una señal generada a partir de los datos secundarios) a los datos primarios, otros procedimientos no aditivos de combinación también están dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, un procedimiento de combinación incluye la realización de una factorización de la matriz de los datos primarios y los datos secundarios en factores, y entonces la combinación de los factores resultantes para formar una señal combinada. La factorización puede ser una descomposición generalizada en valores singulares aquí descritos anteriormente. Si "combinar ( $\lambda_i, \sigma_i, \beta$ )" se utiliza para definir la combinación de los factores  $\lambda_i$  y  $\sigma_i$  respectivamente, de las matrices de datos primarios y secundarios  $Z_1$  y  $Z_2$ , respectivamente, con  $\beta$  definiendo la cantidad relativa de datos secundarios, algunas de las posibilidades incluyen

$$\text{combinar } (\lambda_i, \sigma_i, \beta) = (\lambda_i(1-\beta)\sigma_i\beta), \text{ y}$$

$$\text{combinar } (\lambda_i, \sigma_i, \beta) = \max(\lambda_i, \beta\sigma_i).$$

La figura 18 es un diagrama de bloques que muestra una aplicación general del procedimiento de la invención tal como se utiliza para procesar los datos terciarios. Tal como se muestra en la figura 18, un generador de estrategia de enlace ascendente (por ejemplo, un procedimiento para determinar la ponderación) se basa en una señal de referencia (obtenida a partir de los datos primarios) y un conjunto de datos. De acuerdo con la presente invención, los datos de entrada al generador de estrategia es una combinación de los datos primarios y los datos secundarios. La salida del generador de estrategia es un conjunto de parámetros que se utilizan en el tratamiento de los datos terciarios. En el caso de procesamiento espacial lineal, los parámetros pueden ser un conjunto de ponderaciones. Debe tenerse en cuenta que los parámetros producidos por el generador de estrategia se pueden combinar con los datos de calibración para producir los parámetros de la estrategia de enlace descendente para el procesamiento de los datos de enlace descendente.

Existen muchas otras aplicaciones del procedimiento de la presente invención. Como otro ejemplo representativo, se considera el problema de determinar una secuencia de ponderaciones de procesamiento de enlace ascendente para una secuencia de ráfagas recibidas cuando una señal de buena referencia está disponible para sólo algunas de las ráfagas. Una mala señal de referencia puede producirse, por ejemplo, si un procedimiento iterativo dirigido a la decisión se utiliza para extraer la señal de referencia de los datos recibidos, en algunos casos, la repetición puede no converger o puede converger a una señal de referencia que no corresponde con el usuario deseado. En la realización PHS preferida, una forma en que esta "falsa" convergencia se puede detectar es usando la comprobación de redundancia cíclica de 16 bits (CRC) presente en cada ráfaga PHS para poner a prueba la capacidad de carga de la ráfaga para la corrupción. Si la prueba CRC falla, la señal de referencia se considera que está dañada y no es adecuada para los cálculos de ponderación futuros. Véase, por ejemplo, la solicitud de patente US no. 09/286, 135 de Petrus titulada "PROCEDIMIENTO Y APARATO DE PROCESAMIENTO DE ANTENAS INTELIGENTES ADAPTATIVAS DE MODO ITERATIVO MÚLTIPLE", del mismo titular que la presente invención. Este fallo detectado, sin embargo, se llama aquí corrupción de la señal de referencia.

Al seleccionar las ponderaciones iniciales a utilizar para la ráfaga actual, los procedimientos de la técnica anterior responden a un fallo CRC en la ráfaga anterior mediante la reutilización de ponderaciones anteriores calculadas a partir de la ráfaga más reciente para pasar la prueba CRC. Las ponderaciones anteriores, sin embargo, no reducen la interferencia de los nuevos interferentes. Cuánto más antiguas sean la ponderaciones, más probabilidades existen de que aparezca una nueva interferencia, lo que resulta en una larga secuencia de las ráfagas mal procesadas. Un aspecto del procedimiento de la presente invención es superar esta limitación mediante el uso de los datos primarios de la ráfaga más reciente y la señal de referencia para pasar una prueba de selección de la señal de referencia, por ejemplo, la prueba CRC, y el uso de los datos secundarios como la ráfaga actual todavía a ser procesada. Así, este aspecto de la invención proporciona un procedimiento que se recupera de la corrupción de la señal de referencia al tiempo que rechaza la interferencia en un entorno de interferencia cambiante.

#### Rendimiento

La figura 19 y la figura 20 ilustran los beneficios de la realización preferida de la presente invención, que incluyen el procesamiento de un enlace ascendente lineal con el cálculo de la ponderación basada en la covarianza, tal como se describe en la ecuación 7A. Las figuras muestran, cada una, dos curvas de rendimiento, una para el procedimiento de la técnica anterior, que utiliza ponderaciones de enlace ascendente determinadas a través de cuadrados menos ordinarios, y otra para el procedimiento de la presente invención. El rendimiento se mide en términos de la señal promedio de la relación de interferencia más ruido (SINR) en la salida del procesador de enlace ascendente lineal. Las curvas de rendimiento se calculan a través de los procedimientos de Monte Carlo, es decir, haciendo un promedio sobre muchas realizaciones de señal aleatorias e independientes.

Las simulaciones son para una estación de comunicación con una matriz de antenas de 8 elementos que utiliza comunicación por ráfagas. Las ráfagas de datos procesadas consisten en 88 muestras temporales independientes. Cada simulación procesa dos ráfagas de datos. La ráfaga principal  $Z_1$  consiste en un solo usuario en ruido gaussiano aditivo de blanco espacio-temporalmente,

$$Z_1 = a_u s_u + n_1,$$

donde  $a_u$  es un vector de firma espacial usuario 8 por 1,  $s_u$  es la forma de onda de señal transmitida del usuario 1 por 88, y el  $n_1$  es una matriz de 8 por 88 de muestras de ruido gaussiano. La ráfaga secundaria  $Z_2$  se construye de manera similar a la ráfaga primaria, pero con un interferidor añadido, es decir,

$$Z_2 = a_u s'_u + a_i s_i + n_2,$$

donde  $s'_u$  es la forma de onda transmitida del usuario deseado,  $s_i$  es la forma de onda transmitida de la interferencia,  $n_2$  es ruido gaussiano, y  $a_i$  es la firma espacial del interferidor. El usuario y el interferidor son seleccionados para tener un producto escalar normalizado de 0,5. Es decir,

$$\frac{|\mathbf{a}_u \cdot \mathbf{a}_i|}{\|\mathbf{a}_u\| \|\mathbf{a}_i\|} = 0.5.$$

El procedimiento de cálculo de ponderación de la técnica anterior calcula un vector de ponderación de enlace ascendente  $\mathbf{w}$  usando:

$$\mathbf{w} = (\mathbf{Z}_1 \mathbf{Z}_1^H)^{-1} \mathbf{Z}_1 \mathbf{s}'_u,$$

- 5 mientras que en el aspecto de la invención que se considera aquí, las ponderaciones de enlace ascendente se calculan a través de

$$\mathbf{w} = (\mathbf{Z}_1 \mathbf{Z}_1^H + \beta \mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_2^H)^{-1} \mathbf{Z}_1 \mathbf{s}'_u,$$

con  $\beta = 1/16$ . En cualquier caso, las ponderaciones se aplican a los datos secundarios en un esfuerzo de extraer la señal del usuario  $\mathbf{s}'_u$ . Así, la potencia de la señal deseada después del procesamiento del enlace ascendente es

$$10 P_u = 10 \log_{10} \|\mathbf{w}^H \mathbf{a}_u \mathbf{s}'_u\|^2 \text{ dB},$$

10

la interferencia más la energía del ruido es

$$P_{n+i} = 10 \log_{10} \|\mathbf{w}^H (\mathbf{a}_i \mathbf{s}'_i + \mathbf{n}_2)\|^2 \text{ dB},$$

y el SINR en decibelios es  $P_u - P_{n+i}$ .

- 15 **La figura 19** muestra el efecto de la variación de la energía (es decir, el SNR) del usuario deseado, manteniendo la relación de las energías del usuario y el interferidor (la relación C/I o CIR) igual a 1. Como se puede observar en la figura, el procedimiento de la técnica anterior obtiene un SINR pobre, independientemente del SNR, mientras que esta realización del procedimiento de la invención produce un SINR mejorado que aumenta con la potencia incidente de la señal.

- 20 **La figura 20** muestra el efecto de la variación de la relación C/I, manteniendo el SNR del usuario deseado igual a 15 dB. El procedimiento de la técnica anterior funciona peor de manera uniforme que esta realización de la invención, con la degradación siendo cada vez más pronunciada a medida que C/I se reduce, o, de manera equivalente, cuando la energía del interferidor crece.

- 25 Un aspecto de la presente invención es un aparato y un procedimiento para actualizar de forma adaptativa un proceso que determina la estrategia de procesamiento de las antenas inteligentes de transmisión o recepción (*por ejemplo*, ponderaciones) que se aplica para formar un conjunto de señales de antena durante la formación de una señal que se transmite desde un usuario remoto a una estación base, o para el procesamiento de las señales recibidas para estimar una señal transmitida desde un usuario remoto a la estación base. La actualización del proceso de cálculo de la estrategia puede ser usado para alterar las características de formación del haz de antenas (y formación de anulaciones) de una matriz de elementos de antena con el fin de adaptarse a un entorno de trabajo cambiante, *por ejemplo*, diferencias en la localización, número, o el movimiento de los transmisores de interferencia, cambios en las características del canal, etc., que pueden diferir entre las ráfagas de datos. Este entorno operativo cambiante se conoce como un entorno de interferencia cambiante. En una realización, el procedimiento de la invención altera el conjunto de datos utilizados como entrada a un procedimiento de cálculo de estrategia de procesamiento conocido mediante la incorporación de una versión escalada de un segundo conjunto de datos, o una característica del segundo conjunto de datos. La combinación del primer conjunto de datos y la versión escalada del segundo conjunto de datos se introduce en el procedimiento de cálculo de estrategia de procesamiento conocido en lugar de utilizar el primer conjunto de datos como entrada. El procedimiento de cálculo de estrategia de procesamiento resultante se altera así para incorporar la información obtenida a partir del segundo conjunto de datos, pero sin la sobrecarga computacional necesaria para procesar completamente el segundo conjunto de datos.

- 40 Debe tenerse en cuenta que en el aparato y en el procedimiento de la presente invención no es necesario identificar explícitamente cualquier nueva interferencia de onda y no es necesario tratar de separar la señal deseada de usuarios remotos del interferidor en los datos secundarios, por ejemplo, la presente ráfaga. Por ejemplo, en las realizaciones de la señal de inyección, no se realiza ningún cálculo que no sea el escalado de los datos secundarios y la combinación de los datos escalados con los datos primarios.

5 Debe tenerse en cuenta también que las diversas realizaciones de la invención pueden ser utilizadas en un receptor inalámbrico que tiene una matriz de elementos de antena para el procesamiento de señales recibidas en los elementos de antena, o en un transmisor de radio que tiene una matriz de elementos de antena para el procesamiento de una señal que se transmitirá para formar señales para la transmisión mediante los elementos de antena. En general, el término "estación inalámbrica", por lo tanto, puede ser utilizado para un receptor que tiene una matriz de elementos de antena o para un transmisor que tiene una matriz de elementos de antena o para un transceptor que tiene una matriz de elementos de antena, para recepción y transmisión.

10 Los términos y las expresiones que se han utilizado en este documento se utilizan como términos de descripción y no de limitación, y no hay intención en el uso de estos términos y estas expresiones de excluir equivalentes de las características que se muestran y se describen, o partes de las mismas, reconociéndose que son posibles diversas modificaciones dentro del alcance de la invención reivindicada.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento en un sistema de antenas de matriz adaptativa (103) conectado a uno o más transceptores de un sistema de comunicación inalámbrica, comprendiendo el procedimiento:

5 determinar ponderaciones recibidas iniciales aplicadas a las ráfagas de señal recibidas del sistema de antenas de matriz adaptativa (103), y las ponderaciones iniciales de transmisión aplicadas a las ráfagas de señal transmitidas del sistema de antenas de matriz adaptativa (103), en el que la determinación de las ponderaciones iniciales de transmisión y/o las ponderaciones iniciales de recepción se basa, al menos en parte, en datos primarios  $Z_1$  obtenidos a partir de una primera ráfaga de señales de las ráfagas de señal recibidas, en el que los datos de formación conocidos y/o un período de silencio conocido ha sido procesado y extraído de la primera ráfaga de señal, y  
 10 proporcionar una actualización de las ponderaciones de transmisión iniciales y/o las ponderaciones inicial de recepción, incluyendo la determinación de las ponderaciones de actualización basadas en una combinación de los datos primarios  $Z_1$  y datos secundarios  $Z_2$  obtenidos a partir de una segunda ráfaga de señal de las ráfagas de señal recibidas, la segunda ráfaga de señal recibida después de la primera ráfaga de señal, en el que la determinación de las ponderaciones de actualización se basa en la primera ráfaga de señal que es la más reciente de las ráfagas de señal recibidas para determinar que no está corrompida, y en el que las ponderaciones de actualización se utilizan para modificar la formación de haces de antena y las características de formación de reflexiones del sistema de antenas de matriz adaptativa (103) para adaptarse a las diferencias en la localización, el número y/o el movimiento de los transmisores de interferencia, produciéndose las diferencias en el tiempo entre la primera ráfaga de señal y la segunda ráfaga de señal.

20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, que también comprende:

aplicar las ponderaciones de actualización para el procesamiento de una o más de las ráfagas de señal recibidas y las ráfagas de señal transmitidas, recibidas o transmitidas a través del uno o más transceptores del sistema de comunicación inalámbrica.

25 3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que las ponderaciones de actualización comprenden un conjunto de ponderaciones para las antenas conectadas en el sistema de antenas de matriz adaptativa (103), el conjunto de ponderaciones aplicadas selectivamente a una o más de las ráfagas de señal recibidas, recibidas a través del sistema de antenas de matriz adaptativa (103) o aplicadas de forma selectiva a una o más de las ráfagas de señales transmitidas, transmitidas a través del sistema de antenas de matriz adaptativa (103).

30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el conjunto de ponderaciones modifica uno o más de una amplitud y/o una característica de fase de una o más de las ráfagas de señal recibidas y/o una o más de las ráfagas de señal transmitidas, transmitidas o recibidas a través del sistema de antenas de matriz adaptativa (143).

5. Procedimiento según la reivindicación 1, que también comprende además:

35 refinar de iterativa las ponderaciones de actualización utilizando datos secundarios  $Z_2$  a través de nuevas ráfagas de señal recibidas más tarde, para las cuales no está disponible información característica, que incluye datos de formación conocidos y/o un período de silencio conocido.

6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la determinación de las ponderaciones de transmisión iniciales y/o las ponderaciones de recepción iniciales comprende:

emplear una o más técnicas de procesamiento lineal espacial, procesamiento espacio-temporal, y procesamiento no lineal.

40 7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la determinación de las ponderaciones de transmisión iniciales y/o las ponderaciones de recepción iniciales comprende:

combinar selectivamente los datos primarios  $Z_1$  con una estimación de la información característica de los datos primarios  $Z_1$  para desarrollar las ponderaciones de transmisión iniciales y/o las ponderaciones de recepción iniciales.

45 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que la estimación de la información característica incluye una estimación de la covarianza de los datos primarios  $Z_1$ .

9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la estimación de la covarianza se representa mediante una estimación de covarianza de ruido más de interferencia más señal, y en el que la estimación de la covarianza para obtener la estimación de la covarianza incluye el uso de un estimador de covarianza de ruido más interferencia que estima la covarianza de ruido más interferencia sobre la base de datos primarios  $Z_1$  y sobre una señal de referencia que corresponde a los datos de formación conocidos y/o al período de silencio conocido procesado y extraído de las ráfagas de señal recibidas.

10. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la estimación de la información característica se desarrolla utilizando un algoritmo de Viterbi con métricas de rama.

11. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la provisión de la actualización para las ponderaciones de transmisión iniciales y/o las ponderaciones de recepción iniciales comprende:

5 inyectar una señal adicional sobre la base de los datos secundarios  $Z_2$  en una de las ráfagas de señal recibidas, formando así una señal inyectada que tiene la forma de  $Z_1 + \beta Z_2$ , teniendo así la señal inyectada componentes de interferencia y componentes deseados de un transmisor de usuarios remotos que ha originado la ráfaga de la señal recibida, y en el que  $\beta$  representa un parámetro ajustable.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que una cantidad de datos secundarios  $Z_2$  aplicada, que forma así la señal inyectada en forma de  $Z_1 + \beta Z_2$  se corresponde con el parámetro ajustable definido por  $\beta$ .

10 13. Aparato para su uso en un sistema de antena de matriz adaptativa (103) conectado a uno o más transceptores de un sistema de comunicación inalámbrica, comprendiendo el aparato:

15 un ordenador de estrategia (619) dispuesto para determinar las ponderaciones de recepción iniciales aplicadas a las señales de enlace ascendente recibidas y las ponderaciones de transmisión iniciales se aplican a las señales de enlace descendente transmitidas basadas, al menos en parte, en datos primarios  $Z_1$  obtenidos a partir de una primera ráfaga de señal de las ráfagas de señal recibidas, en el que los datos de formación conocidos y/o un período de silencio conocido se ha procesado y extraído de la primera ráfaga de señal;

20 el ordenador de estrategia (619) dispuesto para proporcionar también una actualización de las ponderaciones de transmisión iniciales y/o las ponderaciones de recepción iniciales, en el que el ordenador de estrategia está dispuesto para determinar ponderaciones de actualización basadas en una combinación de datos primarios  $Z_1$  y datos secundarios  $Z_2$  obtenidos a partir de una señal de enlace ascendente recibida después de la primera ráfaga de señal, en el que la determinación de las ponderaciones de actualización se basa en la primera ráfaga de señal, que es la más reciente de las ráfagas de señal recibidas para determinar que no está corrompida;

25 un combinador (607) dispuesto para recibir los datos primarios  $Z_1$  y para formar una señal inyectada que tiene una combinación de componentes de interferencia y componentes deseados desde un transmisor de usuarios remotos mediante la combinación de los datos primarios  $Z_1$ , y los datos secundarios  $Z_2$  en la señal inyectada, en el que la señal inyectada tiene en cuenta las diferencias en una localización, un número y/o un movimiento de los transmisores de interferencia, produciéndose las diferencias en el tiempo entre las ráfagas de señal recibidas y la señal de enlace ascendente, y

30 un procesador de señal (609) dispuesto, en respuesta al combinador, para aplicar la actualización de las ponderaciones a las señales de enlace ascendente recibidas, recibidas mediante el sistema de antenas de matriz adaptativa (103) y/o para aplicar la actualización de las ponderaciones a las señales de enlace descendente transmitidas, transmitidas mediante el sistema de antenas de matriz adaptativa (103), utilizando la señal inyectada formada.

35 14. Aparato según la reivindicación 13, en el que el ordenador de estrategia (619) está dispuesto a modificar selectivamente una o más características de señal de las señales de enlace ascendente recibidas y/o las señales de enlace descendente transmitidas a una o más antenas del sistema de antenas de matriz adaptativa (103).

15. Aparato según la reivindicación 14, en el que el ordenador de estrategia (619) está dispuesto para utilizar las ponderaciones de actualización para modificar selectivamente una o más de una amplitud y/o característica de fase de las señales de enlace ascendente recibidas y/o la señal de enlace descendente transmitida, recibida o transmitido mediante cada antena del sistema de antenas de matriz adaptativa (103).

40 16. Aparato según la reivindicación 13, en el que el aparato está configurado para ser utilizado mediante una unidad de suscriptores de comunicación inalámbrica.

17. Aparato según la reivindicación 13, en el que el aparato está configurado para ser utilizado mediante una estación base de comunicación inalámbrica.

45 18. Aparato según la reivindicación 13, en el que el procesador de señal (609) está dispuesto para implementar un procesamiento de lineal espacial o espacio-temporal convencional para generar ponderaciones de recepción iniciales y/o ponderaciones de transmisión iniciales.

19. Aparato según la reivindicación 13, en el que el procesador de señal está configurado para utilizar un generador de estrategia no lineal para generar las ponderaciones de recepción iniciales y/o las ponderaciones de transmisión iniciales.

50

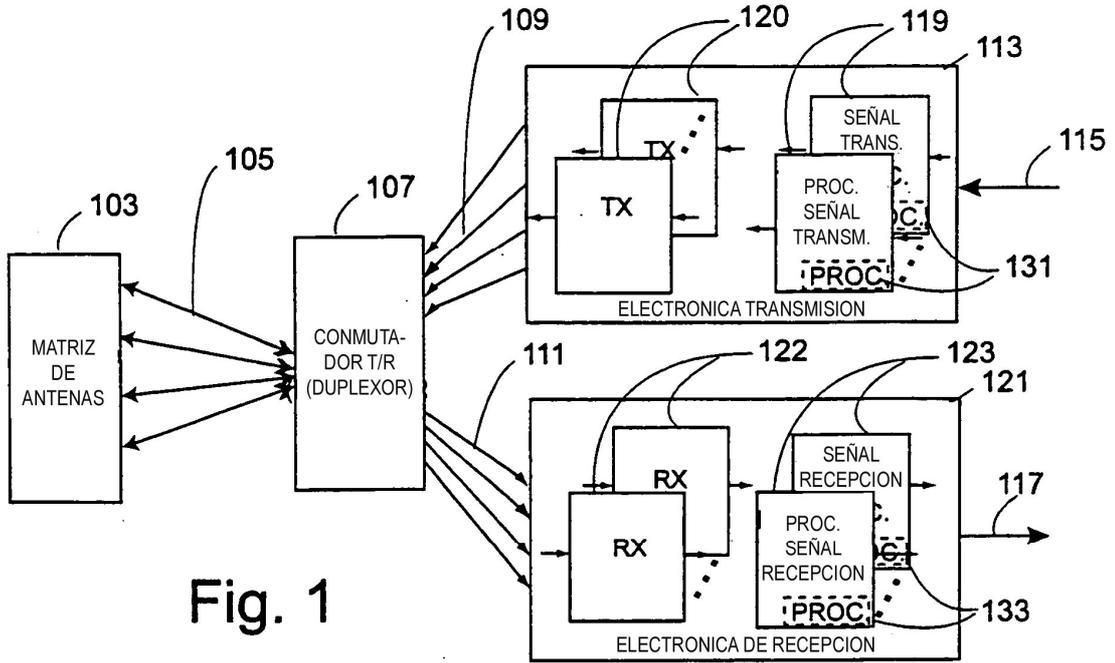


Fig. 1

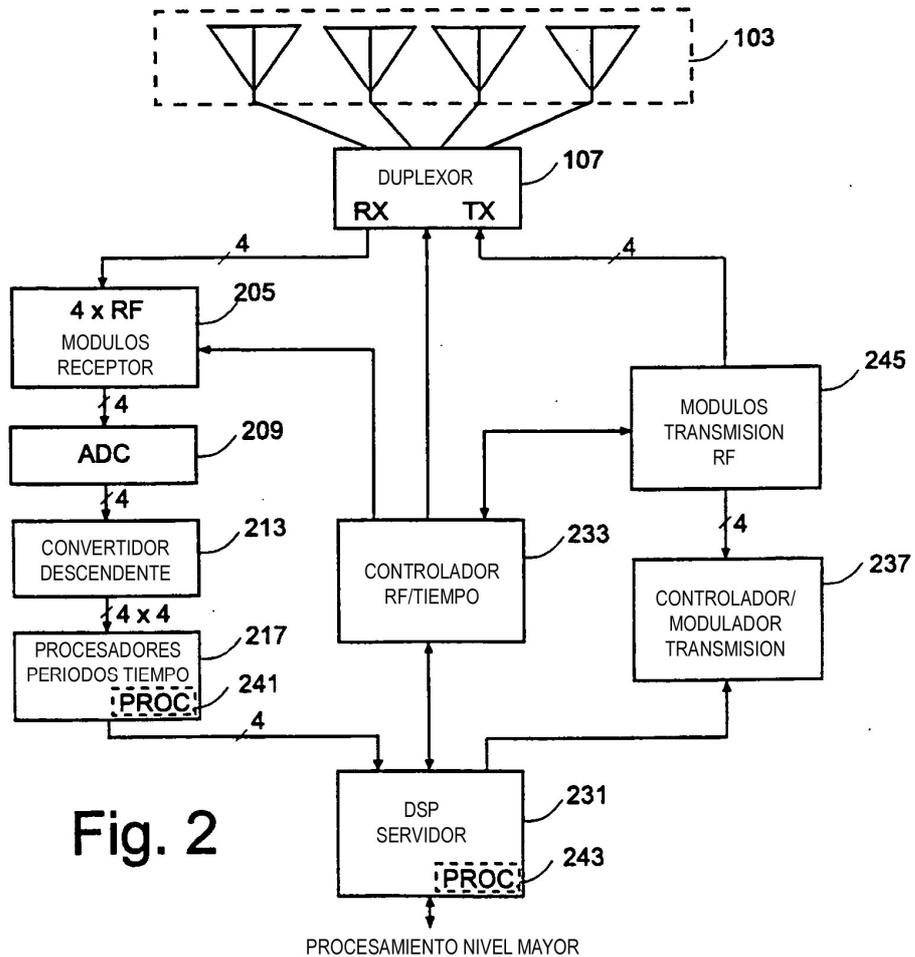


Fig. 2

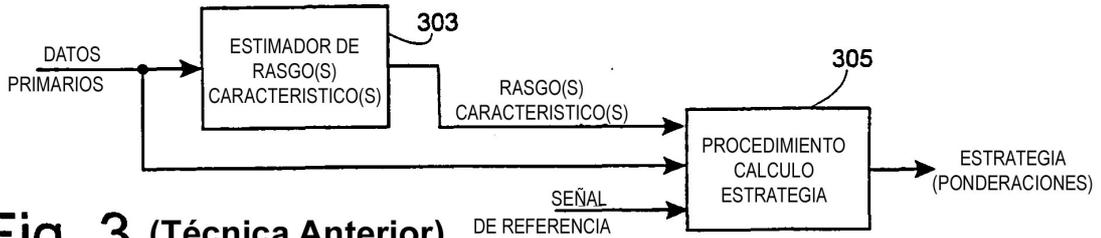


Fig. 3 (Técnica Anterior)



Fig. 4 (Técnica Anterior)

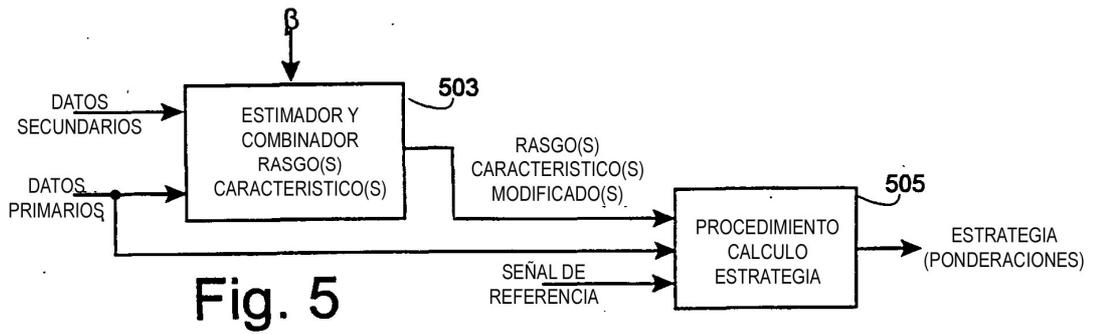


Fig. 5

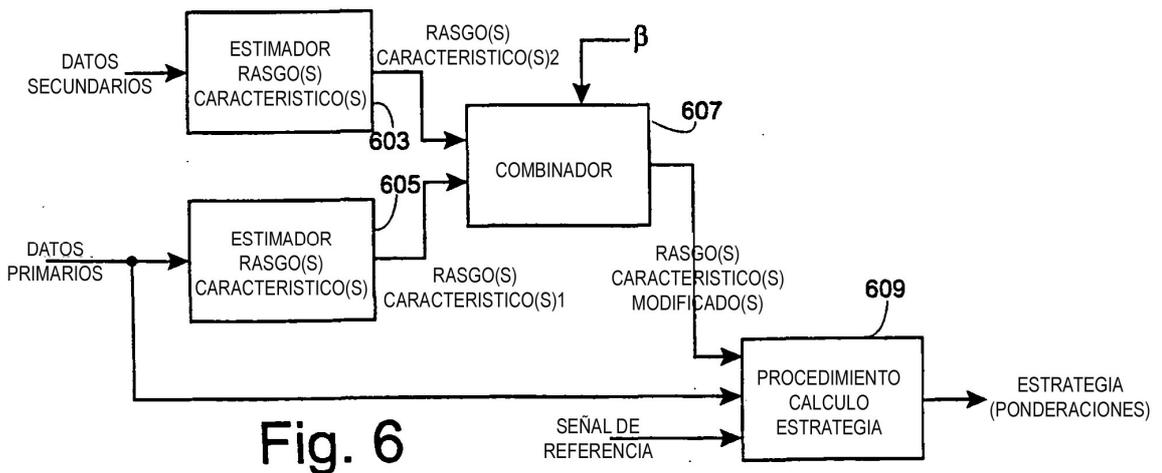
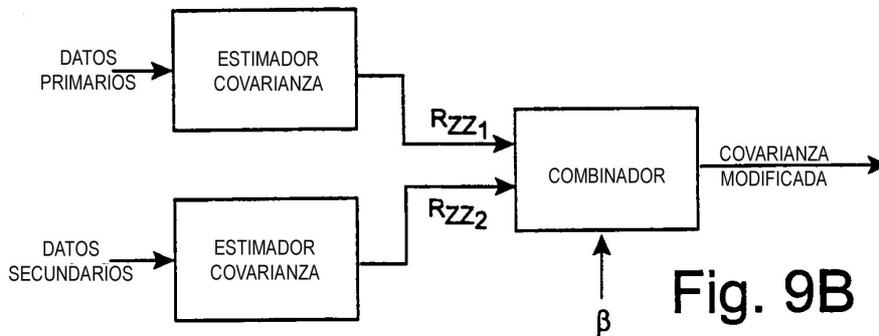
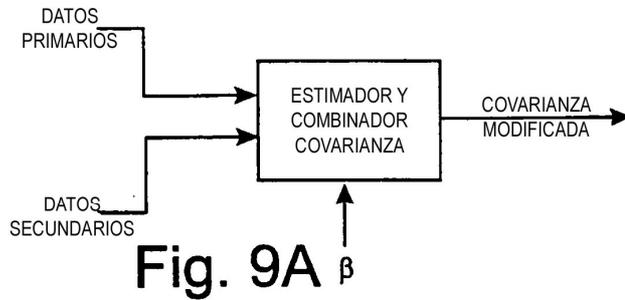
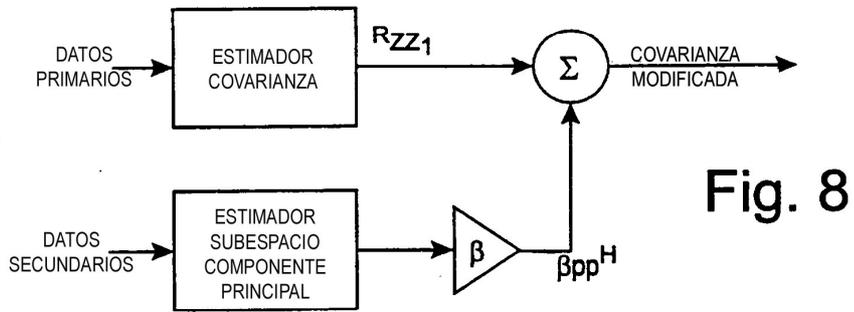
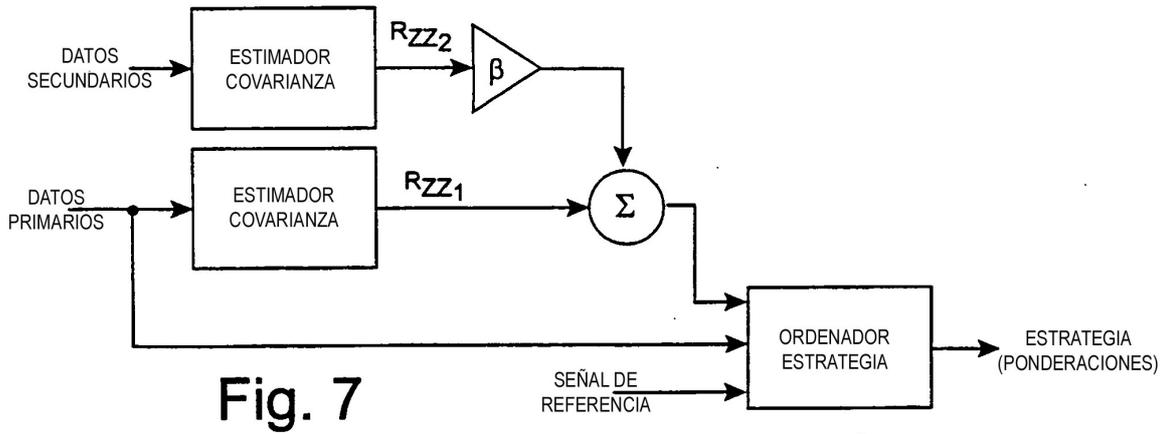


Fig. 6



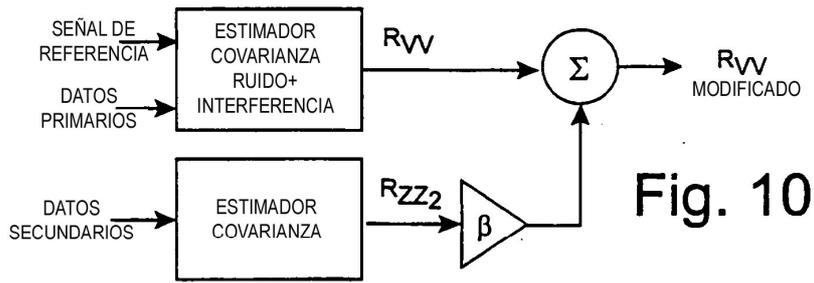
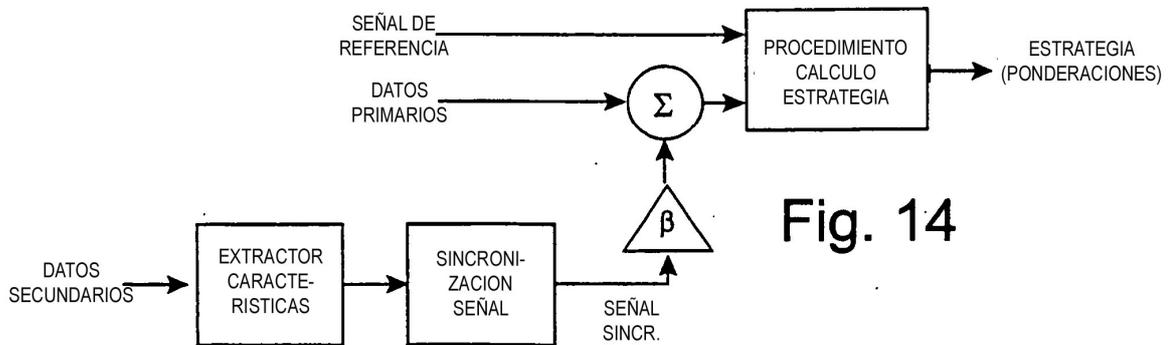
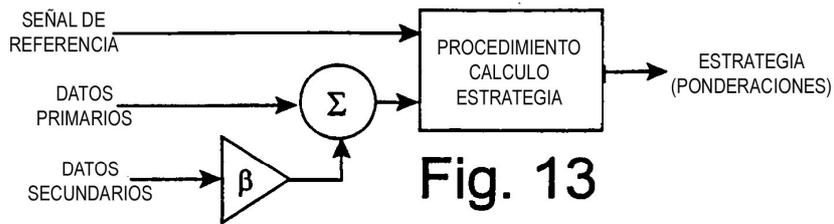
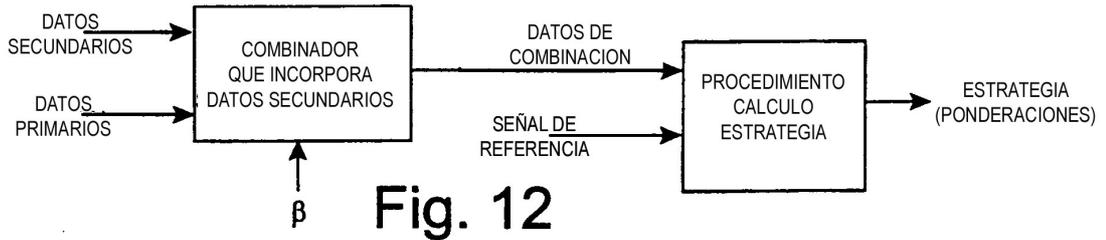


Fig. 11 (Técnica Anterior)



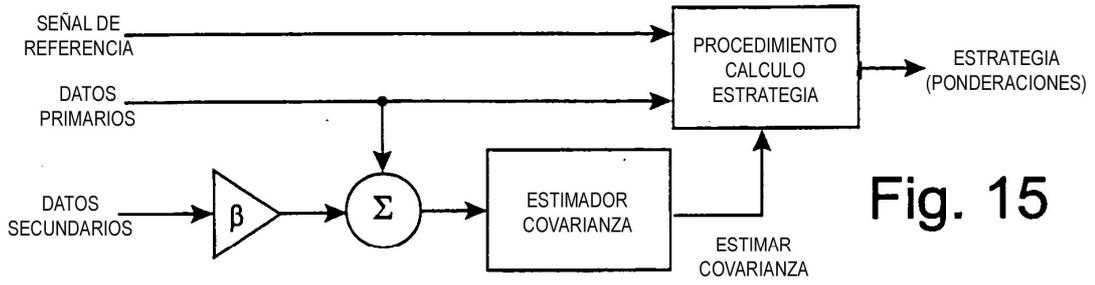


Fig. 15

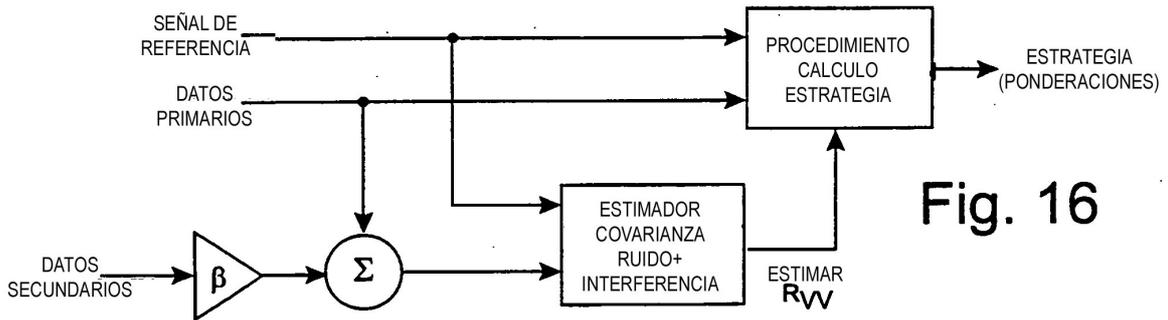


Fig. 16

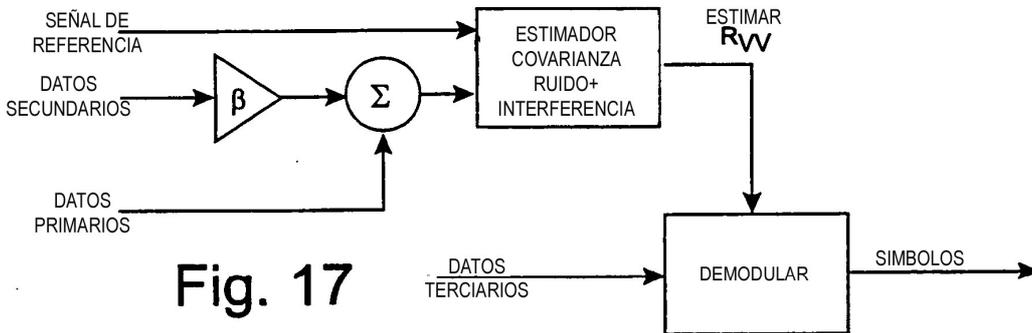


Fig. 17

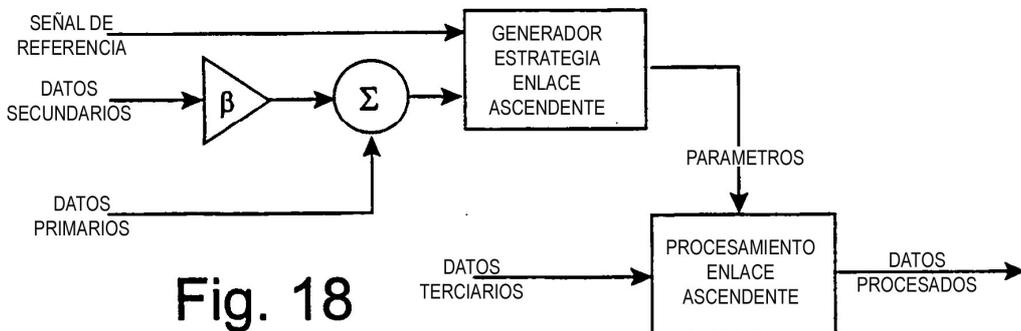
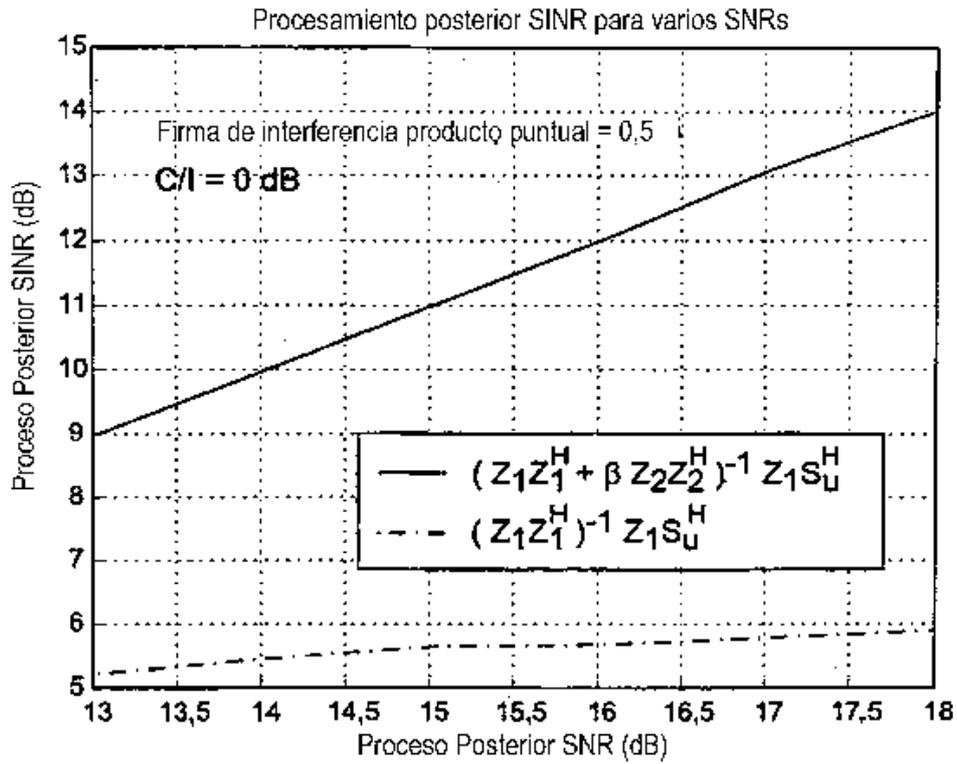
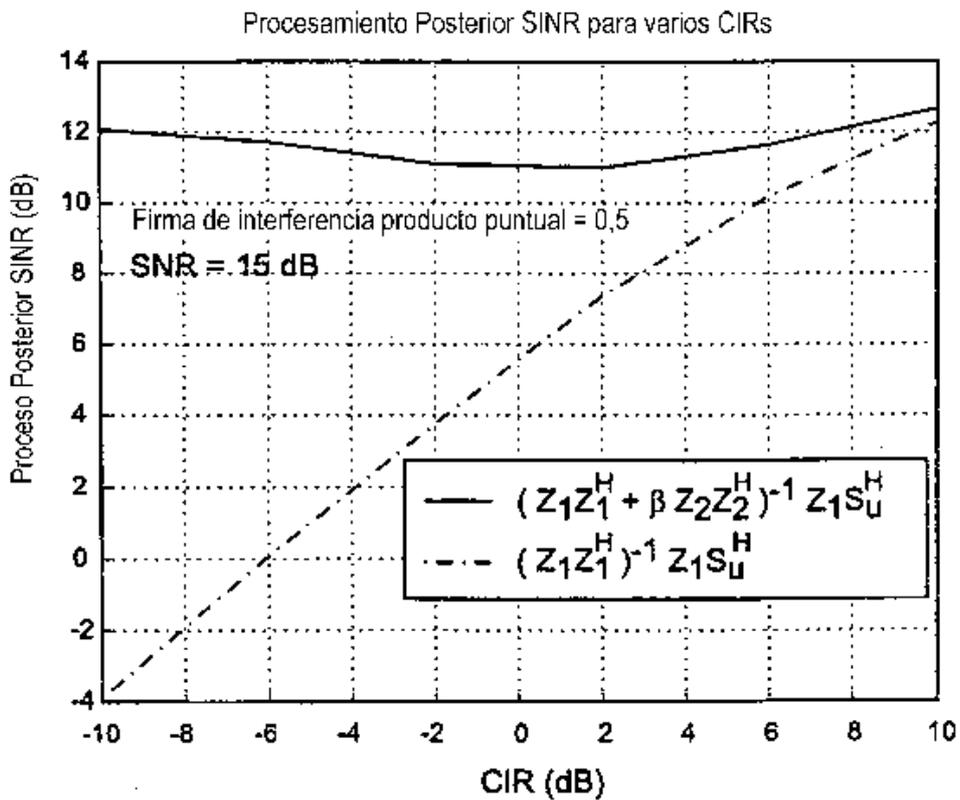


Fig. 18



**Fig. 19**



**Fig. 20**