

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 425**

51 Int. Cl.:

H04B 1/707 (2011.01)

H04B 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2004 E 04800286 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2013 EP 1687909**

54 Título: **Módulos conjuntos multidimensionales de buscador y estimador de canal**

30 Prioridad:

20.11.2003 US 717313

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

03.05.2013

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)
164 83 Stockholm , SE**

72 Inventor/es:

FELTER, STEFAN

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 402 425 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

Módulos conjuntos multidimensionales de buscador y estimador de canal

5 **Antecedentes**

CAMPO DE LA INVENCION

10 La presente invención pertenece a las telecomunicaciones inalámbricas y, en particular, a un aparato y un procedimiento para determinar una estimación de canal que se utilizará para reconstruir símbolos de datos transmitidos a través de un canal.

TÉCNICA RELACIONADA Y OTRAS CONSIDERACIONES

15 Una unidad de telecomunicaciones inalámbricas incluye normalmente un transmisor y un receptor para comunicarse con otras unidades de telecomunicaciones inalámbricas a través de un enlace de comunicaciones. En las comunicaciones inalámbricas, el enlace de comunicaciones se produce normalmente a través de una interfaz aérea (por ejemplo, interfaz de radiofrecuencia). Tal y como se utiliza en este documento, una "unidad de telecomunicaciones inalámbricas" con su "receptor de telecomunicaciones inalámbricas" puede estar incluida en un
20 nodo de red (por ejemplo, un nodo de red de acceso de radio tal como un nodo de estación base, también denominado Nodo-B) o un terminal. Tales "terminales" incluyen terminales móviles tales como unidades de equipo de usuario (UE), también denominadas estaciones móviles, e incluyen, a modo de ejemplo, teléfonos móviles (teléfonos "celulares"), ordenadores portátiles con terminación móvil. Por tanto, los terminales pueden ser, por ejemplo, dispositivos móviles portátiles, de bolsillo, manuales, incluidos en un ordenador o montados en un coche
25 que comunican voz y/o datos con una red de acceso de radio. Como alternativa, los terminales pueden ser dispositivos inalámbricos fijos, por ejemplo, dispositivos/terminales celulares fijos que forman parte de un bucle local inalámbrico o similar.

Tal y como se muestra de manera simplificada en la Fig. 32, un sistema de telecomunicaciones inalámbricas incluye una antena de transmisión 2300T y una antena de recepción 2300R. Un canal 2302 describe la relación entre la antena de transmisión 2300T y la antena de recepción 2300R, incluyendo la interfaz inalámbrica. Una señal, modulada normalmente en pulsos, se transmite a través de un canal 2302 desde la antena de transmisión 2300T hasta la antena de recepción 2300R. La señal puede comprender un "símbolo" o una cadena de series de
30 símbolos, indicada como "m" en la Fig. 32. La señal puede transportar datos de usuario y/o determinados datos de control (por ejemplo, un bit piloto o una secuencia piloto). La señal m transmitida por la antena de transmisión 2300T se convoluciona con una respuesta de impulso de canal h del canal, de manera que la señal recibida en la antena de recepción 2300R es $m * h$ (por ejemplo, m convolucionada con h). La señal recibida $m * h$ se aplica a una funcionalidad de procesamiento de banda base 2304 del receptor, donde la señal recibida se somete a un procesamiento de radiofrecuencia. Las partes de datos de la señal recibida se aplican a un detector 2306, que
40 puede ser, por ejemplo, un desmodulador tal como un receptor RAKE.

Los detectores más modernos tratan de recuperar una estimación de símbolo \hat{m} a partir de la señal recibida $m * h$. Para ello, los detectores más sofisticados esperan recibir una "estimación de canal" que se utilizará para modelar el canal a través del cual se transmitió la señal. La precisión de esta estimación de canal influye en la precisión y el
45 funcionamiento del detector a la hora de estimar el símbolo real recibido a través del canal.

La modelización del canal (que es necesaria para la mayoría de detectores) se facilita mediante los datos de control, normalmente en forma de un bit piloto o una secuencia piloto, los cuales se transmiten por el transmisor. Los datos de control, denominados en lo sucesivo "datos piloto" por simplicidad, son de un formato o patrón
50 conocido o reconocible. Los datos piloto se transmiten normalmente de manera periódica por la fuente de transmisión y, por tanto, en el receptor puede esperarse la recepción de repeticiones de los datos piloto a intervalos sucesivos. En vista de factores tales como el movimiento relativo del transmisor y el receptor, los intervalos sucesivos no son necesariamente constantes. Los datos piloto pueden transmitirse simultáneamente, o intercalados, con los datos de usuario.

55 Para utilizar los datos piloto, los receptores inalámbricos incluyen normalmente un buscador y un estimador de canal, tal como el buscador 2308 y el estimador de canal 2310 mostrados en la Fig. 32. En los datos de control, la señal recibida $m * h$ se aplica al buscador 2308, el cual determina un tiempo de llegada (TOA). Después, el tiempo de llegada se aplica al estimador de canal 2310, el cual usa el tiempo de llegada para determinar la estimación de canal \hat{h} y después proporciona la estimación de canal \hat{h} al detector 2306. Utilizando la estimación de canal \hat{h} , el detector desarrolla su estimación del símbolo, por ejemplo, \hat{m} .

- El receptor puede recibir la señal original (por ejemplo, señal de pulso corto) desde la fuente de transmisión a través de un espacio abierto por medio de una única trayectoria de propagación directa. Como alternativa, en otro entorno que tiene obstáculos u otras superficies, el receptor puede recibir la misma señal original a través de múltiples trayectorias de propagación. En caso de múltiples trayectorias, la señal recibida aparece en el receptor como un
- 5 flujo de pulsos, donde cada pulso tiene un retardo de tiempo diferente en vista de la multitrayectoria de propagación correspondiente a través de la cual se transmitió la señal, así como una amplitud y una fase posiblemente diferentes.
- Las multitrayectorias se crean en un canal de radio móvil mediante la reflexión de la señal desde obstáculos del entorno tales como edificios, árboles, coches, personas, etc. Además, el canal de radio móvil es dinámico en el sentido de que varía en el tiempo debido al movimiento relativo que afecta a las estructuras que crean las multitrayectorias o debido al movimiento de las estructuras y objetos en el espacio circundante (incluso si el transmisor y el receptor son fijos). En una señal transmitida a través de un canal de multitrayectoria que varía en el tiempo, las múltiples trayectorias correspondientes recibidas varían en tiempo, ubicación, atenuación y fase.
- 15 Algunos receptores de telecomunicaciones inalámbricas sacan partido a la existencia de las multitrayectorias con el fin de obtener varias ventajas. Tales receptores funcionan normalmente en la señal de banda base para buscar e identificar las multitrayectorias más robustas junto con sus retardos de tiempo correspondientes. El receptor tiene un filtro que funciona con un perfil de retardo de potencia de la señal. El perfil de retardo de potencia puede conceptualizarse como un refinamiento promediado en el tiempo o como otra derivación de la respuesta de impulso de canal. El buscador intenta localizar picos en el perfil de retardo de potencia, correspondiendo cada pico a la llegada de un frente de onda de la señal desde una multitrayectoria respectiva. En muchos buscadores, los picos también corresponden a una pulsación (*tap*) de canal del filtro.
- 20 Una estimación de canal \hat{h}_i aplicada al detector comprende por tanto un conjunto de tiempos de llegada (TOA) y de coeficientes de canal complejos, estando asociado cada par de TOA y de coeficientes de canal a uno de los frentes de onda entrantes. Dicho de otro modo, cada frente de onda entrante tiene un par de elementos del conjunto, por ejemplo un TOA y un coeficiente de canal. Por tanto, los coeficientes de canal forman realmente un vector de respuesta de impulso de canal, de manera que debe entenderse que los términos "coeficiente de canal" y "coeficientes de canal" utilizados en lo sucesivo se refieren a un vector de respuesta de impulso de canal. Si solo hay un frente de onda, solo hay un TOA y un coeficiente de canal en el conjunto (un coeficiente de canal en el vector de respuesta de impulso de canal). En cambio, en varios frentes de onda entrantes hay una pluralidad correspondiente de TOA y de coeficientes de canal. De manera ideal, la estimación de canal \hat{h}_i debe proporcionar una estimación de la respuesta de impulso de canal tan buena como sea posible, mejorando de ese modo el rendimiento del detector cuando el detector determina su estimación \hat{m} del símbolo m transmitido.
- 25 Después, la estimación de canal se suministra al detector, tal como el tipo de desmoduladores RAKE. Un desmodulador RAKE asigna normalmente una pluralidad de desmoduladores paralelos (denominados dedos RAKE) a los componentes de multitrayectoria más robustos de la señal de multitrayectoria recibida según determina el procesador de búsqueda de multitrayectoria. En una red de acceso de radio de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA), las salidas de cada uno de los dedos RAKE se combinan mediante diversidad después de la compensación de retardo correspondiente para generar la "mejor" señal desmodulada que mejora considerablemente la calidad y la fiabilidad del sistema de comunicaciones de radio.
- 40 Convencionalmente, los receptores de telecomunicaciones inalámbricas utilizan primero sus buscadores para averiguar el tiempo de llegada de un frente de onda. Posteriormente, después de que el buscador haya determinado el tiempo de llegada, el estimador de canal utiliza el tiempo de llegada para calcular un coeficiente de canal, el cual expresa tanto la amplitud como la fase de la señal.
- 45 Algunas unidades de telecomunicaciones inalámbricas tienen más de una antena para recibir una misma señal. En la técnica anterior, el buscador intenta localizar picos en el perfil de retardo de potencia para cada antena por separado. Dicho de otro modo, para cada antena, el buscador funciona de manera más o menos independiente. De ese modo, los buscadores de la técnica anterior son esencialmente unidimensionales.
- 50 El documento US 2003/0067970 A1, publicado el 10 de abril de 2003, da a conocer un procedimiento de búsqueda de trayectorias de señal y un aparato asociado al mismo en un sistema de comunicaciones móviles dotado de una pluralidad de elementos de una agrupación de antenas.
- 55 Tal y como se ha indicado anteriormente, el funcionamiento de un receptor inalámbrico depende en gran medida de la precisión de la determinación de los picos, es decir, de la determinación del tiempo de llegada, llevada a cabo por el buscador. Cuanto mejor sea la determinación de picos por parte del buscador, mejor será el rendimiento global del receptor (por ejemplo, con una menor tasa de errores). Sin embargo, en muchos casos puede resultar difícil
- 60

5 para un buscador hallar un pico real en un perfil de retardo de potencia. Tal y como se ha mencionado anteriormente, en muchos algoritmos de buscador, el pico corresponde a una pulsación de canal. Debido a esta dificultad, hay un riesgo considerable de elegir un pico de manera incorrecta. Además, puede ser difícil estimar el valor real de una pulsación de canal. Los canales con bajas relaciones de señal a ruido (SINR) son particularmente susceptibles de sufrir estas dificultades.

Por lo tanto, se necesita, y es un objeto de la presente invención, proporcionar un aparato y procedimiento para proporcionar una estimación de canal mejorada para un receptor de telecomunicaciones inalámbricas.

10 **Breve resumen**

15 Un receptor de comunicaciones inalámbricas comprende una estructura de antenas y un módulo conjunto de buscador y estimador de canal. La estructura de antenas adquiere señales diferenciadas dimensionalmente utilizadas simultáneamente por el módulo conjunto de buscador y estimador de canal para determinar un tiempo de llegada y un coeficiente de canal. El receptor de comunicaciones inalámbricas puede ser un terminal móvil o un nodo de red (por ejemplo, un nodo de red de acceso de radio tal como un nodo de estación base, denominado también Nodo-B).

20 En algunas realizaciones, la estructura de antenas comprende una agrupación de varias antenas. Las señales adquiridas por diferentes antenas de la agrupación se diferencian dimensionalmente con respecto a una dimensión espacial. De este modo, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal de estas realizaciones es un módulo conjunto "espacial" de buscador y estimador de canal. El tiempo de llegada y el coeficiente de canal se determinan esencialmente de manera simultánea por el módulo conjunto de buscador y estimador de canal. El coeficiente de canal de tiempo es un coeficiente de canal compuesto que tiene en cuenta las respuestas de impulso de canal para canales asociados a cada una de las diversas antenas de la agrupación de antenas.

30 En otras realizaciones, la estructura de antenas comprende una antena que proporciona señales para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto recibidos por la antena como las señales diferenciadas dimensionalmente. Las señales adquiridas por la antena están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión temporal. De este modo, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal de esta realización es un módulo conjunto "temporal" de buscador y estimador de canal.

35 En uno de sus aspectos, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal comprende una matriz de señales de antena, un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal. Valores complejos que indican la señal diferenciada dimensionalmente recibida en una ventana de muestreo se almacenan en la matriz de señales de antena en función de un índice de tiempo de ventana de muestreo y un índice de diferenciación dimensional. En diferentes realizaciones, el analizador de matrices puede utilizar técnicas paramétricas o no paramétricas.

40 En realizaciones no paramétricas, el analizador de matrices puede adoptar la forma de un correlacionador que funciona para generar un vector o una matriz. El correlacionador localiza uno o varios valores de la matriz de señales de antena que se utilizarán para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal. Específicamente, el correlacionador localiza "tonos" en la matriz de señales de antena correspondientes a frentes de onda entrantes. El generador de estimaciones de canal utiliza el o los valores encontrados por el correlacionador para generar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal.

45 Para localizar valores de la matriz de señales de antena correspondientes a un frente de onda entrante, el correlacionador considera un vector de recepción dimensional formado a partir de la matriz de señales de antena con respecto a un índice de tiempo de ventana de muestreo. El vector de receptividad dimensional tiene una frecuencia relacionada con una diferencia entre componentes de fase de valores complejos del vector de receptividad dimensional, habiendo varias frecuencias posibles para la receptividad dimensional, representándose las diversas frecuencias posibles mediante un índice de frecuencia. En las realizaciones espaciales, las diversas frecuencias posibles corresponden a varias direcciones de llegada (DOA) posibles de un frente de onda. En las realizaciones temporales, las diversas frecuencias posibles corresponden a varios desplazamientos de frecuencia posibles para un frente de onda entrante. Los desplazamientos de frecuencia pueden atribuirse principalmente a desplazamientos Doppler, pero también pueden incluir desplazamientos de frecuencia en los osciladores del transmisor y del receptor. Por simplicidad, tales desplazamientos de frecuencia se denominarán en lo sucesivo "desplazamientos Doppler" o "desplazamientos de frecuencia Doppler".

60 En una implementación de ejemplo de correlacionador de tipo no paramétrico de un módulo conjunto de buscador y estimador de canal, para cada combinación de diversas frecuencias posibles y de varios índices de tiempo, el correlacionador calcula una transformada rápida de Fourier según la expresión $Y(n,t) = \text{FFT}(n, X(:,t))$. En esta expresión, t es el índice de tiempo de ventana de muestreo; $X(:,t)$ es la matriz de antenas complejas, donde :

representa todos los índices de diferenciación dimensional para un índice de tiempo de ventana de muestreo, y n es el índice de frecuencia. En un sistema de comunicaciones inalámbricas CDMA, el correlacionador calcula la expresión $Y(n,t) = \sum C_j * FFT(n, X(:,t)), j = 1, K$, donde C_j es un valor j de símbolo de secuencia de codificación y K es una longitud de la secuencia de codificación. En realizaciones espaciales, los índices de diferenciación dimensional son los índices de antena, y cada una de las diversas frecuencias posibles para el vector de receptividad dimensional representa una posible dirección de llegada diferente del frente de onda entrante. En realizaciones temporales, los índices de diferenciación dimensional son índices de conjuntos piloto, y cada una de las diversas frecuencias posibles para el vector de receptividad dimensional representa un posible valor diferente de desplazamiento Doppler para un frente de onda entrante.

La salida de correlacionador de tipo no paramétrico comprende $Y(n,t)$. El analizador determina un valor absoluto máximo $|Y(n,t)|_{max}$. El analizador utiliza un índice de tiempo t_{max} de ventana de muestreo en el que $|Y(n,t)|_{max}$ se produce como el tiempo de llegada del frente de onda entrante. En las realizaciones espaciales, el analizador utiliza un índice de frecuencia n_{max} en el que $|Y(n,t)|_{max}$ se produce como la dirección de llegada del frente de onda entrante y obtiene una amplitud para el frente de onda entrante dividiendo $|Y(n,t)|_{max}$ por el número de antenas que comprende la agrupación de antenas. En las realizaciones espaciales, la dirección de llegada se utiliza para obtener el coeficiente de canal. En las realizaciones temporales, el analizador utiliza el índice de frecuencia n_{max} en el que $|Y(n,t)|_{max}$ se produce como el desplazamiento Doppler para el frente de onda entrante y obtiene una amplitud para el frente de onda entrante dividiendo $|Y(n,t)|_{max}$ por el número de conjuntos de datos piloto en la serie. En las realizaciones temporales, el desplazamiento Doppler se utiliza para obtener el coeficiente de canal.

En realizaciones paramétricas, el analizador de matrices puede adoptar la forma de un estimador que estima un parámetro en la señal y genera de ese modo un valor de estimación de salida de parámetro (por ejemplo, un vector de salida de estimación paramétrica). El vector de salida de estimación paramétrica incluye normalmente frecuencia espacial, amplitud espacial, frecuencia temporal y amplitud temporal o frecuencia espacio-temporal y amplitud espacio-temporal. El vector de salida de estimación paramétrica puede incluir otros parámetros. El analizador de matrices paramétrico genera el vector de salida de estimación paramétrica. El generador de estimaciones de canal utiliza el vector de salida de estimación paramétrica para generar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal. El generador de estimaciones de canal utiliza valores de amplitud y de frecuencia de elementos del vector de salida de estimación paramétrica para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal de un frente de onda entrante.

En las realizaciones espaciales, el vector de salida de estimación paramétrica generado por el estimador paramétrico tiene un índice de tiempo de ventana de muestreo y un valor de parámetro espacial para cada índice de tiempo. El parámetro espacial incluye frecuencia espacial y amplitud espacial. Para un elemento del vector de salida de estimación paramétrica que tiene un valor absoluto suficientemente alto, es decir, la amplitud espacial, el generador de estimaciones de canal utiliza un índice de tiempo de ventana de muestreo para un elemento del vector de salida de estimación paramétrica que tiene un valor de amplitud espacial suficientemente alto para determinar el tiempo de llegada del frente de onda entrante. La dirección de llegada del frente de onda entrante se mejora a partir del valor de parámetro de frecuencia espacial del tiempo de llegada identificado.

En las realizaciones temporales, el vector de salida de estimación paramétrica generado por el estimador paramétrico tiene un índice de tiempo de ventana de muestreo y un valor de parámetro temporal para cada índice de tiempo. El parámetro temporal incluye frecuencia temporal y amplitud temporal. Para un elemento del vector de salida de estimación paramétrica que tiene un valor absoluto suficientemente alto, el generador de estimaciones de canal utiliza un índice de tiempo de ventana de muestreo para un elemento del vector de salida de estimación paramétrica que tiene un valor absoluto suficientemente alto, es decir, la amplitud temporal, para determinar el tiempo de llegada del frente de onda entrante. El desplazamiento Doppler del frente de onda entrante es el valor de parámetro de frecuencia temporal del tiempo de llegada identificado.

Breve descripción de los dibujos

Los anteriores y otros objetos, características y ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción más particular de realizaciones preferidas ilustradas en los dibujos adjuntos, en los que los caracteres de referencia se refieren a las mismas partes a lo largo de las diversas vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, haciéndose énfasis, en cambio, en ilustrar los principios de la invención.

La Fig. 1 es una vista esquemática de un receptor de telecomunicaciones inalámbricas genérico de ejemplo que incluye un módulo conjunto de buscador y estimador de canal.

La Fig. 2A y la Fig. 2B son vistas esquemáticas de diferentes realizaciones de ejemplo de módulos conjuntos espaciales de buscador y estimador de canal, cada uno mostrado con una agrupación de antenas.

- 5 La Fig. 3 es una vista esquemática que ilustra una señal que emana desde una antena de transmisión a lo largo de tres multitrayectorias distintas hacia una agrupación de antenas de un receptor de telecomunicaciones inalámbricas.
- La Fig. 4 es una vista esquemática de un frente de onda que se desplaza hacia una agrupación de antenas.
- La Fig. 5A y la Fig. 5B son vistas esquemáticas que ilustran señales obtenidas tras la llegada de un frente de onda en una agrupación de antenas.
- 10 La Fig. 6 es una vista esquemática de una matriz de señales de antena.
- La Fig. 7 es un diagrama de flujo que muestra etapas básicas representativas llevadas a cabo por un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal de una realización de ejemplo de un módulo conjunto de buscador y estimador de canal, donde el analizador de matrices utiliza una técnica de análisis no paramétrica.
- 15 La Fig. 8A, la Fig. 8B, la Fig. 8C(1), la Fig. 8C(2) y la Fig. 8C(3) son vistas esquemáticas que ilustran resultados de una evaluación de funcionamiento comparativa que contrasta el rendimiento de un módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal con un buscador convencional.
- 20 La Fig. 9A es una vista esquemática de una matriz de señales de antena, de un vector de pesos de antena y de un vector de salida de estimación no paramétrica.
- La Fig. 9B es una vista esquemática de una matriz de señales de antena y de un vector de salida de estimación paramétrica.
- 25 La Fig. 10 es un diagrama de flujo que muestra etapas básicas representativas llevadas a cabo por un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal de una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal, donde el analizador de matrices utiliza una técnica de análisis paramétrica.
- 30 La Fig. 11 es una vista esquemática que ilustra una combinación coherente de salidas de señal por medio de un módulo conjunto de buscador y estimador de canal.
- 35 La Fig. 12 es una vista esquemática que ilustra cómo un vector de pesos de antena facilita la combinación coherente ilustrada en la Fig. 11.
- La Fig. 13A es una vista esquemática de una realización de ejemplo de un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal mostrado con una agrupación de antenas, comprendiendo el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal un analizador de matrices que utiliza una técnica de análisis no paramétrica.
- 40 La Fig. 13B es una vista esquemática de una realización de ejemplo de un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal mostrado con una agrupación de antenas, comprendiendo el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal un analizador de matrices que utiliza una técnica de análisis paramétrica.
- 45 La Fig. 14 es una vista esquemática que ilustra una secuencia de conjuntos de datos piloto y de datos de usuario recibida por un receptor que utiliza un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal, así como una matriz de señales de antena utilizada por el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal.
- 50 La Fig. 15 es un diagrama de flujo que muestra etapas básicas representativas llevadas a cabo por un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal de una realización de ejemplo de un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal, donde el analizador de matrices utiliza una técnica de análisis no paramétrica.
- 55 La Fig. 16A es una vista esquemática de una matriz de señales de antena, de un vector de pesos Doppler y de un vector de salida de estimación no paramétrica para un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal.
- La Fig. 16B es una vista esquemática de una matriz de señales de antena y de un vector de salida de estimación paramétrica para un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal.
- 60 La Fig. 17 es un diagrama de flujo que muestra etapas básicas representativas llevadas a cabo por un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal de una realización de ejemplo de un módulo conjunto

temporal de buscador y estimador de canal, donde el analizador de matrices utiliza una técnica de análisis paramétrica.

5 La Fig. 18A es una vista esquemática de una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal mostrado con una agrupación de antenas, comprendiendo el módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal un analizador de matrices que utiliza una técnica de análisis no paramétrica.

10 La Fig. 18B es una vista esquemática de una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal mostrado con una agrupación de antenas, comprendiendo el módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal un analizador de matrices que utiliza una técnica de análisis paramétrica.

15 La Fig. 19 es una vista esquemática que ilustra una secuencia de conjuntos de datos piloto y de datos de usuario recibida por un receptor que utiliza un módulo conjunto espacial/temporal combinado de buscador y estimador de canal, así como una matriz de señales de antena utilizada de manera correspondiente.

20 La Fig. 20 es un diagrama de flujo que muestra etapas básicas representativas llevadas a cabo por un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal de una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal, donde el analizador de matrices utiliza una técnica de análisis no paramétrica.

25 La Fig. 21 es una vista esquemática de una matriz de señales de antena, de un vector de pesos de antena y de pesos Doppler y de un vector de salida de estimación no paramétrica de una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal que funciona en un modo tridimensional esencialmente concurrente.

30 La Fig. 22A y la Fig. 22B son vistas esquemáticas que ilustran el funcionamiento de una primera implementación alternativa de un módulo conjunto espacio-temporal secuencial no paramétrico de buscador y estimador de canal.

La Fig. 23 describe el procedimiento de un enfoque no paramétrico para un método secuencial espacio-temporal en el que el procesamiento espacial va seguido de un procesamiento temporal.

35 La Fig. 24A y la Fig. 24B son vistas esquemáticas que ilustran el funcionamiento de una segunda implementación alternativa de un módulo conjunto espacio-temporal secuencial no paramétrico de buscador y estimador de canal.

La Fig. 25 describe el procedimiento de un enfoque no paramétrico para un método secuencial espacio-temporal en el que el procesamiento temporal va seguido de un procesamiento espacial.

40 La Fig. 26 es una vista esquemática de una matriz de señales de antena y de un vector de salida de estimación paramétrica para una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal.

45 La Fig. 27 es un diagrama de flujo que muestra etapas básicas representativas llevadas a cabo por un analizador de matrices y un generador de estimaciones de canal de una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal, donde el analizador de matrices utiliza una técnica de análisis paramétrica.

50 La Fig. 28A y la Fig. 28B son vistas esquemáticas que ilustran el funcionamiento de una primera implementación alternativa de un módulo conjunto espacio-temporal secuencial paramétrico de buscador y estimador de canal.

La Fig. 29 describe el procedimiento del enfoque paramétrico para un método secuencial espacio-temporal en el que el procesamiento espacial va seguido de un procesamiento temporal.

55 La Fig. 30A y la Fig. 30B son vistas esquemáticas que ilustran el funcionamiento de una segunda implementación alternativa de un módulo conjunto espacio-temporal secuencial paramétrico de buscador y estimador de canal.

La Fig. 31 describe el procedimiento del enfoque paramétrico para un método secuencial espacio-temporal en el que el procesamiento temporal va seguido de un procesamiento espacial.

60 La Fig. 32 es una vista esquemática de un receptor de telecomunicaciones inalámbricas convencional.

Descripción detallada de los dibujos

En la siguiente descripción, que tiene fines explicativos y no limitativos, se exponen detalles específicos tales como arquitecturas, interfaces, técnicas, etc. particulares con el fin de proporcionar un entendimiento minucioso de la presente invención. Sin embargo, a los expertos en la técnica les resultará evidente que la presente invención puede llevarse a la práctica en otras realizaciones que se apartan de estos detalles específicos. En otros casos se omiten las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos ampliamente conocidos para no oscurecer la descripción de la presente invención con detalles innecesarios. Además, en algunas figuras se muestran bloques funcionales individuales.

La Fig. 1 muestra un receptor de telecomunicaciones inalámbricas genérico de ejemplo 20 que, como se ha mencionado anteriormente, puede estar incluido en un nodo de red o un terminal, por ejemplo un terminal móvil. El receptor de telecomunicaciones inalámbricas 20 incluye una estructura o agrupación de antenas 22, un módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24, un detector 26 y una unidad de control y temporización 28. Opcionalmente, tal y como se ilustra mediante una línea discontinua, el receptor 20 puede incluir un generador de secuencias de código 30.

Tal y como se utiliza ampliamente en este documento, la agrupación de antenas 22 puede comprender uno o más elementos de antena. La(s) señal(es) de la agrupación de antenas 22 se aplica(n) al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24 y al detector 26. La(s) señal(es) de la agrupación de antenas 22 comprende(n) un vector de respuesta de impulso de canal si la agrupación de antenas 22 comprende más de un elemento de antena.

En el posible caso de que la(s) señal(es) se haya(n) codificado, por ejemplo, mediante un código de ensanchamiento o similar, tanto el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24 como el detector 26 están conectados para funcionar junto con el generador de secuencias de código 30. La unidad de control y temporización 28 genera señales de control y de temporización (por ejemplo, de sincronización) que se proporcionan al detector 26 y al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24.

Debe apreciarse que el receptor puede incluir, por ejemplo aguas abajo de la agrupación de antenas, determinada funcionalidad de procesamiento de radiofrecuencias y determinada funcionalidad de desmodulación de radiofrecuencias, de manera que las señales aplicadas al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24 y al detector 26 son señales de banda base. La estructura ilustrada del receptor de telecomunicaciones inalámbricas 20 de la Fig. 1 se refiere por tanto esencialmente al procesamiento de la(s) señal(es) de banda base.

Posteriormente se describirán varios ejemplos representativos no limitativos de diferentes realizaciones de módulos conjuntos de buscador y estimador de canal. Posteriores descripciones del funcionamiento de receptores de telecomunicaciones inalámbricas con estas diferentes realizaciones están basadas en determinados supuestos. Algunos de estos supuestos están relacionados con un modelo de canal que conceptualiza campos electromagnéticos a medida que llegan en un número discreto de frentes de onda en el receptor de telecomunicaciones inalámbricas y, en particular, que llegan a uno o más elementos de antena que pueden utilizarse en la agrupación de antenas 22.

Tal y como se utiliza en este documento, una "ventana de muestreo" comprende ranuras de tiempo consecutivas (o, en un sistema CDMA, por ejemplo, "fragmentos de información") obtenidas desde una antena dada y analizadas por un módulo conjunto de buscador y estimador de canal. Tal y como se describe posteriormente en mayor detalle, las realizaciones de módulos conjuntos de buscador y estimador de canal trabajan con una matriz de señales de antena formada a partir de varias ventanas de muestreo. En algunas realizaciones, denominadas en lo sucesivo módulos conjuntos "espaciales" de buscador y estimador de canal, la matriz de señales de antena está formada a partir de ventanas de muestreo obtenidas de varias antenas. En otras realizaciones, denominadas en lo sucesivo módulos conjuntos "temporales" de buscador y estimador de canal, la matriz de señales de antena está formada con respecto a una única antena, pero formada a partir de ventanas de muestreo obtenidas por esa antena para conjuntos sucesivos de datos piloto (que se generan en el tiempo). En otras realizaciones adicionales, denominadas en lo sucesivo módulos conjuntos espacio-temporales de buscador y estimador de canal, la matriz de señales de antena está formada tanto espacial como temporalmente.

Para los fines de la tecnología descrita en este documento, la agrupación de antenas 22 se conceptualiza adquiriendo señales "diferenciadas dimensionalmente". El módulo conjunto de buscador y estimador de canal utiliza esencialmente de manera simultánea las señales diferenciadas dimensionalmente proporcionadas por la agrupación de antenas para determinar, para cada frente de onda entrante, un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal. En el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal, en el que la estructura de antenas comprende una agrupación de varias antenas que tienen elementos de antena separados o alejados espacialmente, las señales adquiridas por diferentes antenas de la agrupación están diferenciadas

dimensionalmente con respecto a una dimensión espacial. En el estimador conjunto temporal de buscador y estimador de canal, en el que la estructura de antenas comprende una antena que proporciona señales para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto recibidos en diferentes intervalos de tiempo, las señales adquiridas por la antena están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión temporal o de tiempo. En el

5 módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal, que presenta tanto la estructura de antenas que comprende una agrupación de varias antenas como una o más antenas que reciben los conjuntos sucesivos de datos piloto, las señales adquiridas por la antena están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión espacial y una dimensión de tiempo o temporal.

10 En algunos casos se dice que los módulos conjuntos de buscador y estimador de canal determinan “de manera concurrente” el tiempo de llegada y algún otro valor, por ejemplo, la dirección de llegada o el desplazamiento de frecuencia Doppler. En este sentido, “concurrente” significa que los valores o determinaciones pueden obtenerse en paralelo a partir del resultado de una operación que determina un resultado, por ejemplo una técnica no paramétrica tal como una transformada rápida de Fourier o una técnica paramétrica.

15 **MÓDULOS CONJUNTOS ESPACIALES DE BUSCADOR/ESTIMADOR**

En algunas realizaciones, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal procesa simultáneamente las señales de varias antenas a través de una ventana de muestreo para determinar el tiempo de llegada y el

20 coeficiente de canal. En estas realizaciones, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal es esencialmente una unidad bidimensional, donde una segunda dimensión es una dimensión espacial impartida por la separación de las diversas antenas de la agrupación. Esta dimensión espacial, que implica esencialmente un procesamiento simultáneo y concurrente de señales de las diversas antenas de la agrupación para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal, concede a estas realizaciones del módulo conjunto de buscador y

25 estimador de canal la distinción de ser un módulo conjunto “espacial” de buscador y estimador de canal.

El módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal puede adoptar diferentes realizaciones y tener diferentes implementaciones. En un ejemplo, la realización ilustrativa del módulo conjunto de buscador y estimador de canal incluye un correlacionador de tipo no paramétrico (por ejemplo, un correlacionador que lleva a cabo un

30 cálculo de una transformada rápida de Fourier (FFT)). En otro ejemplo, la realización ilustrativa del módulo conjunto de buscador y estimador de canal utiliza un enfoque paramétrico.

La Fig. 2A ilustra una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal 24-2A que utiliza una técnica no paramétrica para determinar el tiempo de llegada y la estimación de canal, así como

35 una agrupación de antenas de ejemplo asociada 22-2A. La agrupación de antenas 22-2A incluye, a modo de ejemplo no limitativo, cuatro elementos de antena 22-2A-1 a 22-2A-4. Aunque los elementos de antena 22-2A-1 a 22-2A-4 se muestran formando una agrupación lineal uniforme (ULA), debe entenderse que otras configuraciones de antena diferentes a una agrupación lineal uniforme son posibles, y que el número de elementos de antena de la agrupación de antenas puede variar (por ejemplo, el número de elementos de antena no está limitado a cuatro).

40 Hay requisitos de coherencia para los elementos de antena de la agrupación de antenas 22-2A y para los elementos de antena de todas las diversas agrupaciones de antenas descritas en este documento. El requisito de coherencia puede satisfacerse sincronizando los diversos elementos de antena. Como alternativa, incluso si los diversos elementos de antena no están sincronizados, pero se conocen sus diferencias de fase, el requisito de coherencia puede satisfacerse compensando la diferencia de fase conocida.

Las señales de banda base complejas obtenidas a partir de los elementos de antena se aplican cada una al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A, así como a un detector (no ilustrado en la Fig. 2A). El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A comprende una unidad de manipulación de matrices de señales de antena

50 40-2A. En una manifestación de ejemplo particular, la unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-2A incluye un generador de matrices de señales de antena 42-2A y una memoria de matrices de señales de antena 44-2A. Un analizador de matrices, que para la técnica no paramétrica de la Fig. 2A puede ser un correlacionador 50-2A, trabaja con valores complejos almacenados en la memoria de matrices de señales de antena 44-2A. El correlacionador 50-2A comprende preferentemente un filtro. El correlacionador 50-2A genera

55 determinados valores de salida, los cuales pueden almacenarse, por ejemplo, en una memoria de valores de salida de correlacionador 52-2A. El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A comprende además un generador de estimaciones de canal (CE) 60-2A. En la realización de ejemplo ilustrada, el generador de estimaciones de canal (CE) 60-2A comprende un analizador de salidas de correlacionador 62-2A y una interfaz de detector 64-2A. La interfaz de detector 64-2A genera, para cada frente de onda, un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal (CC). En la Fig. 2A, el tiempo de llegada y el coeficiente de canal proporcionados por la interfaz de detector 64 se aplican al detector en las líneas 66-2A y 68-2A, respectivamente.

En la Fig. 2A, y en otras realizaciones descritas en este documento, se supone que la señal electromagnética transmitida llega al receptor en una pluralidad de frentes de onda electromagnéticos discretos. Se supone una pluralidad de frentes de onda electromagnéticos discretos para permitir el fenómeno de multitrayectoria descrito anteriormente. Por ejemplo, la Fig. 3 ilustra una señal que emana de una antena de transmisión 70 a lo largo de tres multitrayectorias distintas P_1 , P_2 y P_3 hacia una agrupación de antenas 22. Cada multitrayectoria tiene su amplitud individual y , y por consiguiente, tiene un número complejo asociado "a" de la señal de banda base y un retardo de tiempo τ . Por ejemplo, la multitrayectoria P_1 tiene un número complejo asociado a_1 y un retardo de tiempo asociado τ_1 ; la multitrayectoria P_2 tiene un número complejo asociado a_2 y un retardo de tiempo asociado τ_2 ; y así sucesivamente. Tal y como se ilustra en la Fig. 3, la multitrayectoria P_1 es una trayectoria relativamente directa entre la antena de transmisión 70 y la agrupación de antenas 22, mientras que la multitrayectoria P_2 y la multitrayectoria P_3 se reflejan desde obstáculos 72₂ y 72₃, respectivamente. Por tanto, el retardo de tiempo τ_1 de la multitrayectoria P_1 es más corto que el retardo de tiempo τ_2 de la multitrayectoria P_2 , que a su vez es más corto que el retardo de tiempo τ_3 de la multitrayectoria P_3 . Asimismo, salvo que se produzcan otros fenómenos, cabe esperar que el número complejo a_1 de la multitrayectoria P_1 sea mayor que el número complejo a_2 de la multitrayectoria P_2 , y así sucesivamente.

Para una mayor claridad en la descripción, se supone que los frentes de onda electromagnéticos son frentes de onda electromagnéticos planos ("planares"), tal como el frente de onda único 76 ilustrado en la Fig. 4, el cual se desplaza hacia la agrupación de antenas. En todas las realizaciones descritas en este documento debe entenderse que no es necesario que los frentes de onda sean frentes de onda planos, sino que puede considerarse de manera similar cualquier otra forma conocida de frente de onda. Además, debe tenerse en cuenta que la Fig. 4 representa la llegada de solamente un frente de onda, pero normalmente varios frentes de onda inciden en una agrupación de antenas.

Tal y como se muestra además en la Fig. 4, debido a la incidencia de un frente de onda individual, la salida (por ejemplo, señal) de cada elemento de antena tiene su versión del número complejo del frente de onda. Por ejemplo, para un frente de onda de la primera multitrayectoria P_1 de la Fig. 3, el elemento de antena 22-1 proporciona un número complejo a_{1-1} , el elemento de antena 22-2 proporciona un número complejo a_{1-2} , y así sucesivamente. Los números son complejos y, en el caso particular en que (1) los elementos de antena son idénticos, (2) hay coherencia y (3) la onda plana tiene una amplitud constante dentro del ancho de la agrupación, los valores absolutos de los números son idénticos. Además, con respecto al mismo frente de onda entrante, cada antena detecta que la señal entrante tiene una fase. Por ejemplo, para el frente de onda de la primera multitrayectoria P_1 de la Fig. 3, la salida del elemento de antena 22-1 tiene una fase θ_{1-1} , la salida del elemento de antena 22-2 tiene una fase θ_{1-2} , y así sucesivamente.

Las señales obtenidas tras la llegada de un frente de onda en una agrupación de antenas lineal uniforme (ULA) se ilustran en la Fig. 5A y en la Fig. 5B. La Fig. 5A muestra en particular, para cada una de las cuatro antenas 22-1 a 22-4, una propagación de onda plana a través de los elementos de antena para un índice de tiempo fijo (fragmento de información) y pulsos de salida respectivos resultantes 78 (por ejemplo, pulsos de salida 78₁ a 78₄). Para cada antena correspondiente, la Fig. 5B muestra el pulso como un número complejo y con el argumento, θ , del número complejo. El argumento (θ) corresponde a la fase de la señal recibida. La tasa a la que cambian los valores de θ (por ejemplo, la tasa a la que rota la fase) en el tiempo se conoce como la velocidad de rotación de fase, o frecuencia. La rotación de fase para el frente de onda con esta agrupación de antenas se ilustra mediante el valor angular creciente de θ en el intervalo de θ_1 , θ_2 , θ_3 y θ_4 y, por tanto, la frecuencia es la tasa de cambio de este valor angular en el tiempo. La velocidad de rotación de fase es constante. La velocidad de la propagación de fase lineal depende de la dirección de llegada (DOA) del frente de onda incidente.

En el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A de la Fig. 2A, la unidad de manipulación de matrices de antena 40-2A muestrea las señales de banda base complejas de cada elemento de antena. Utilizando las señales de banda base complejas muestreadas, el generador de matrices de señales de antena 42-2A genera una matriz de señales de antena tal como la matriz de señales de antena 80 ilustrada en la Fig. 6. La matriz de señales de antena 80 puede almacenarse de cualquier manera adecuada, tal como la memoria de matrices de antena 44-2A.

La matriz de señales de antena 80 es una matriz bidimensional funcionalmente dependiente. Dicho de otro modo, las muestras complejas se almacenan en la matriz de señales de antena 80 en función de dos índices diferentes. En la matriz de señales de antena 80 mostrada en la Fig. 6, un primer índice es un índice de tiempo de ventana de muestreo, ilustrado a lo largo del eje X de la Fig. 6. En realizaciones que utilizan códigos de ensanchamiento o códigos similares, el primer índice puede ser, por ejemplo, un índice de fragmento de información. Por tanto, el índice de tiempo de ventana de muestreo señala un instante en la ventana de muestreo relativo al inicio de la ventana de muestreo. En la matriz de señales de antena 80 de la Fig. 6, un segundo índice, mostrado a lo largo del eje Y, es un índice de antena (que sirve como un índice de diferenciación dimensional). El índice de antena apunta

a una fila diferente de la matriz de señales de antena 80, estado asociada cada fila a un elemento de antena diferente de la matriz de antenas 22. La Fig. 6 muestra cuatro filas de la matriz de señales de antena 80 por coherencia con los ejemplos anteriores de una agrupación de antenas que comprende cuatro elementos de antena. Sin embargo, se reitera que el número de antenas en una agrupación de antenas, y por tanto el número de filas de la matriz de señales de antena 80 y el valor máximo del índice de antena, puede variar de receptor a receptor, y que la opción de cuatro antenas es solamente ilustrativa y a modo de ejemplo.

La matriz de señales de antena 80 se conceptualiza almacenando señales “diferenciadas dimensionalmente” adquiridas desde la agrupación de antenas. En el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal, en el que la estructura de antenas comprende una agrupación de varias antenas que tienen elementos separados o alejados espacialmente, las señales adquiridas por diferentes antenas de la agrupación están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión espacial. Es decir, para una columna dada de la matriz de señales de antena 80, los valores de cada fila están diferenciados dimensionalmente en el sentido de que se adquieren desde diferentes elementos de antena que están separados en una dimensión espacial en vista de la diferente ubicación física de cada elemento de antena con respecto a otros elementos de antena de la agrupación.

Por simplicidad, los valores complejos almacenados en la matriz de señales de antena 80, incluyendo los valores complejos obtenidos de las antenas, no se ilustran en la Fig. 6. Tales valores complejos se ilustrarían en una tercera dimensión, por ejemplo fuera del plano de la Fig. 6. La matriz de señales de antena 80 incluye tanto ruido blanco complejo como (para los fines de la presente ilustración) una muestra compleja para al menos un frente de onda (plano o con otra forma conocida). Cuando se almacenan en la matriz de señales de antena 80, los frentes de onda tienen una fase conocida (detección no coherente temporal) y son secuencias de código moduladas.

Junto con la matriz de señales de antena 80 de la Fig. 6, y en particular un caso WCDMA en el que la separación de los elementos de antena de la agrupación de antenas no es muy grande, puede considerarse que el frente de onda plano que llega a la agrupación de antenas llega en el mismo índice de tiempo de ventana de muestreo (o índice de fragmento de información).

Los valores complejos almacenados en cada columna de la matriz de señales de antena 80 de la Fig. 6 pueden conceptualizarse como un vector de receptividad dimensional. Es decir, un vector de receptividad dimensional está formado con respecto a una única instancia de tiempo de ventana de muestreo y con valores complejos de cada una de las diversas antenas de la agrupación de antenas. Cada elemento tomado de una única fila de la matriz de señales de antena 80 tiene una fase diferente como la de los diferentes valores de θ ilustrados en la Fig. 5. Cuando se reciben por los diferentes elementos de antena, para el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal el cambio de fase en el tiempo es la frecuencia para el vector de receptividad dimensional. Si la onda llega, por ejemplo, recta, los ángulos pueden ser idénticos. La velocidad de rotación de fase, o la frecuencia, del vector de receptividad dimensional para la instancia de tiempo de ventana de muestreo puede interpretarse como la dirección de llegada (DOA). Por tanto, cada vector de receptividad dimensional corresponde a una dirección de llegada distinta. Hay varias frecuencias posibles para el vector de receptividad dimensional, donde cada una de las diversas frecuencias posibles corresponde a una posible dirección de llegada (DOA) diferente de un frente de onda. Para las técnicas no paramétricas utilizadas en este documento, las diversas frecuencias posibles pueden ser una banda de frecuencias continua. Para diferenciar las diversas frecuencias posibles, cada diversa frecuencia posible se representa mediante un índice de frecuencia.

El generador de estimaciones de canal 60-2A (véase la Fig. 2A) tiene como objetivo desarrollar una estimación de canal “compuesta” basándose en los valores complejos almacenados en la matriz de señales de antena 80. En este punto debe apreciarse que, puesto que la agrupación de antenas 22-2A tiene varios elementos de antena, hay una pluralidad correspondiente de canales a través de los cuales se reciben frentes de onda y, por consiguiente, también puede haber una respuesta de impulso de canal distinta o una estimación de canal distinta para cada uno de los diversos canales. Sin embargo, almacenando las muestras complejas en la matriz de señales de antena 80 de la manera descrita anteriormente y hallando simultáneamente el tiempo de llegada (TOA) y los coeficientes de canal en toda la matriz de señales de antena 80, el generador de estimaciones de canal 60-2A proporciona una estimación de canal que abarca todos los canales para todos los elementos de antena y, por esta razón, se conoce como una estimación de canal “compuesta”.

La estimación de canal compuesta comprende, como se ha mencionado anteriormente, un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal para cada frente de onda entrante en la ventana de muestreo (por ejemplo, un coeficiente de canal mapeado con un tiempo de llegada (TOA)). Por lo tanto, la estimación de canal puede comprender un conjunto (de uno o más) pares de datos, donde cada par incluye un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal. Por tanto, la tarea del correlacionador 50-2A es la de localizar un valor o “tono” en la matriz de señales de antena 80 que se corresponda mejor con un frente de onda entrante, por ejemplo para localizar un valor o tono para cada frente de onda entrante en la ventana de muestreo.

La tarea de localizar un valor o "tono" en la matriz de señales de antena 80 que se corresponda mejor con una frente de onda entrante puede llevarse a cabo mediante varias técnicas, incluyendo técnicas tanto paramétricas como no paramétricas. La técnica de la transformada rápida de Fourier (FFT) como la descrita a continuación es simplemente un ejemplo representativo e ilustrativo de un tipo de correlacionador no paramétrico que puede utilizarse.

La Fig. 7 ilustra etapas básicas de ejemplo llevadas a cabo por un correlacionador de ejemplo 50-2A y de un analizador de salidas de correlacionador 62-2A junto con el cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT). Como etapa 7-1, el correlacionador 50-2A de la Fig. 2A calcula la expresión 1.

$$Y(n,t) = \text{FFT}(n,X(:,t)) \quad \text{Expresión 1}$$

En la expresión 1, t es el índice de tiempo de ventana de muestreo, X(:,t) es la matriz de antenas complejas (donde los dos puntos ":" representa todos los índices de antena para un índice de tiempo de ventana de muestreo), y n es el índice de frecuencia. Cada cálculo FFT es por tanto un cálculo FFT unidimensional en la señal de banda base y corresponde a una dirección de llegada específica (ilustrada mediante el índice de frecuencia) y a un conjunto de pesos de antena que, en la práctica, son los pesos FFT.

La salida del correlacionador 50-2A, es decir, los valores Y(n,t) calculados utilizando la expresión 1, se almacena como valores de salida de correlacionador. Los valores de salida de correlacionador pueden almacenarse, por ejemplo, en la memoria de valores de salida de correlacionador 52-2A de la Fig. 2A.

El analizador de salidas de correlacionador 62-2A del generador de estimaciones de canal (CE) 60-2A busca los valores de salida de correlacionador y (como etapa 7-2) determina a partir de los mismos un valor absoluto máximo $|Y(n,t)|_{\max}$. Este valor absoluto máximo $|Y(n,t)|_{\max}$ es utilizado por el analizador de salidas de correlacionador 62-2A para determinar la dirección de llegada (DOA) y el tiempo de llegada (TOA) de un frente de onda entrante visto en la ventana de muestreo. En particular, como etapa 7-3, el analizador de salidas de correlacionador 62-2A elige un índice de tiempo t_{\max} de ventana de muestreo en el que $|Y(n,t)|_{\max}$ se produce como el tiempo de llegada del frente de onda entrante. Además, como etapa 7-4, el analizador de salidas de correlacionador 62-2A elige el índice de frecuencia n_{\max} en el que $|Y(n,t)|_{\max}$ se produce para representar la dirección de llegada (DOA) del frente de onda entrante. El índice de frecuencia corresponde a una dirección de llegada (por ejemplo, θ). Una amplitud para el frente de onda entrante se determina cuando el analizador de salidas de correlacionador 62-2A divide $|Y(n,t)|_{\max}$ por el número de antenas que comprenden la agrupación de antenas (como etapa 7-5).

La expresión 1 y las etapas de la Fig. 7 representan un cálculo FFT no paramétrico genérico. En una situación específica de CDMA que utiliza un generador de codificación (tal como el generador de codificación 30 de la Fig. 1), puede realizarse un cálculo FFT comparable utilizando un refinamiento de la expresión 1 que aparece como expresión 2.

$$Y(n,t) = \sum C_j * \text{FFT}(n,X(:,t)), j = 1,K \quad \text{Expresión 2}$$

La expresión 2 se obtiene a partir de la expresión 1, mencionándose además que C_j es un valor j de símbolo de secuencia de codificación y K es una longitud de la secuencia de codificación.

Como resultado del funcionamiento del módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A, una estimación de canal precisa puede proporcionarse al detector como una firma espacial. La firma espacial incluye el tiempo de llegada (TOA) así como la dirección de llegada (DOA) y la amplitud. Tal y como se explica posteriormente, el coeficiente de canal (CC) de cada frente de onda se obtiene a partir de la dirección de llegada (DOA) y de la amplitud. El tiempo de llegada (TOA) y el coeficiente de canal (CC) se aplican al detector como se representa mediante las líneas 66-2A y 68-2A, respectivamente, en la Fig. 2A.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el coeficiente de canal (CC) para cada frente de onda se obtiene a partir de la dirección de llegada (DOA) y la amplitud. Recuérdese que en la etapa 7-4 el analizador de salidas de correlacionador 62-2A elige el índice de frecuencia n_{\max} en el que se produce $|Y(n,t)|_{\max}$ para representar la dirección de llegada (DOA) del frente de onda entrante, donde el índice de frecuencia elegido corresponde a una dirección de llegada (por ejemplo, θ). El vector de respuesta de impulso de canal (es decir, el vector de propagación de agrupación) x se genera por tanto por la interfaz de detector 64-2A según la expresión 3 (para elementos de antena isotrópicos idénticos).

$$x = [1, e^{(jkd*\text{sen}\theta)}, e^{(jkd*2\text{sen}\theta)}, \dots, e^{(jkd*(K-1)\text{sen}\theta)}] * C \quad \text{Expresión 3}$$

- En la expresión 3, j es la notación imaginaria convencional, $k = 2*\pi/\lambda$, d es una distancia de separación entre elementos de la agrupación de antenas, λ es la longitud de onda de la señal electromagnética recibida/transmitida: ($f*\lambda = c$) y K es el índice de elemento de antena (ilustrado como números de antena A1, A2, A3, A4 en la Fig. 9A, por ejemplo). En la expresión 3, C es una constante compleja en la que $|C| = |\text{FFT_max}|/\text{número de antenas}$, el argumento de C , es decir, $\arg(C) = \arg(\text{FFT_max})$, donde $|\text{FFT_max}|$ es el valor FFT calculado en la etapa 7-1 de la Fig. 7.
- En la anterior descripción, la función del generador de estimaciones de canal (CE) 60-2A, y en particular de la interfaz de detector 64-2A, es la de generar un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal (CC), obteniéndose el coeficiente de canal a partir de la dirección de llegada, por ejemplo como se ha descrito anteriormente junto con la expresión 3. En una implementación alternativa de estas y otras realizaciones descritas en este documento, el propio detector (tal como el detector 26 ilustrado en la Fig. 1) tras recibir el tiempo de llegada (TOA) y la dirección de llegada (DOA) de cada frente de onda entrante, puede estar en condiciones de calcular el coeficiente de canal de cada frente de onda a partir de la información correspondiente de dirección de llegada (DOA). En este caso, el tiempo de llegada y la dirección de llegada son proporcionados por la interfaz de detector 64 al detector.
- Por tanto, considerando los aspectos descritos anteriormente, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A busca en un número discreto de posibles direcciones de llegada y elige la dirección de llegada con la correlación más alta (valor absoluto más alto). Se ha realizado una evaluación de funcionamiento comparativa para ilustrar la eficacia de un módulo conjunto de buscador y estimador de canal, tal como el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A de la Fig. 2A. Un primer escenario de la evaluación de funcionamiento comparativa utilizó un buscador convencional que funcionaba esencialmente de la manera de la técnica anterior para una ventana de muestreo. Para ello, con respecto a cada antena para la ventana de muestreo, la búsqueda convencional eligió simplemente el tiempo (por ejemplo, fragmento de información) que tenía el valor absoluto más grande. Dicho de otro modo, las señales de cada antena se procesaron por separado. Un segundo escenario de la evaluación de funcionamiento comparativa se llevó a cabo de la manera descrita anteriormente con respecto al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2A de la Fig. 2 y la expresión 1. La misma señal se aplicó en ambos escenarios a una agrupación de antenas que tenía ocho elementos de antena. La longitud de la ventana de muestreo para ambos escenarios fue de veinte fragmentos de información y se utilizó una secuencia de codificación de $\{1\}$ (por ejemplo, solo uno de los fragmentos de información contenía la señal, donde el resto de los fragmentos de información contenía ruido blanco complejo).
- La Fig. 8A ilustra el primer escenario que utilizó el buscador convencional. Por el contrario, la Fig. 8B ilustra el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal 24-2A de la Fig. 2A utilizado para el segundo escenario. La superioridad del segundo escenario (y por tanto del módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal) es evidente a raíz de la comparación de la Fig. 8A y de la Fig. 8B, debido a la SNR superior de la señal de interés en la Fig. 8B. En el segundo escenario, es mucho más fácil elegir el tono o el valor para el frente de onda entrante. En el segundo escenario, la Fig. 8C(1) muestra el valor absoluto de las pulsaciones de respuesta de impulso de canal complejo; la Fig. 8C(2) muestra errores de fase de las pulsaciones de respuesta de impulso de canal complejo y la Fig. 8C(3) muestra el tiempo de llegada detectado.
- Mientras que el módulo conjunto de buscador y estimador de canal de la Fig. 2A incluye un analizador de matrices de tipo no paramétrico, por ejemplo un correlacionador (por ejemplo, un filtro que lleva a cabo un cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT)), en otras realizaciones de ejemplo el analizador de matrices del módulo conjunto de buscador y estimador de canal implementa técnicas paramétricas. Como en la realización de la Fig. 2A, el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal 24-2B de la Fig. 2B (que utiliza una técnica paramétrica) se muestra junto con su agrupación de antenas de ejemplo asociada 22-2B. De nuevo a modo de ejemplo, la agrupación de antenas 22-2B incluye cuatro elementos de antena 22-2B-1 a 22-2B-4. Cada señal obtenida a partir de los elementos de antena se aplica al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B, así como a un detector (no ilustrado en la Fig. 2B).
- De manera similar a la realización descrita anteriormente, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B puede comprender una unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-2B, que a su vez comprende un generador de matrices de señales de antena 42-2B y una memoria de matrices de señales de antena 44-2B, que funcionan de manera muy parecida a la descrita anteriormente. Por ejemplo, los valores de banda base complejos almacenados en la memoria de matrices de señales de antena 44-2B también pueden conceptualizarse como la matriz 80 y, de este modo, tienen un índice de tiempo de ventana de muestreo. La matriz

de señales de antena 80 se ha descrito anteriormente junto con la Fig. 6 y ahora se describe con referencia a la Fig. 9A con el fin de explicar en profundidad el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B de la Fig. 2B.

5 El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B comprende además un analizador matricial, por ejemplo un estimador paramétrico 51-2B, que utiliza una técnica paramétrica. Además, de manera similar a la realización anterior, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B comprende un generador de estimaciones de canal 60-2B que tiene un analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-2B y una interfaz de desmodulador 64-2B. Las etapas básicas llevadas a cabo por el estimador paramétrico 51-2B y por el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-2B del módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B de la Fig. 2B se ilustran en la Fig. 10.

15 Para cada índice de tiempo de ventana de muestreo de la matriz de señales de antena 80, como etapa 10-1 el estimador paramétrico 51-2B estima, por ejemplo, dos parámetros en cada instante de tiempo: un parámetro de frecuencia espacial y un parámetro de amplitud espacial. El parámetro de frecuencia espacial estima la frecuencia creada por las ondas incidentes cuando llegan a la ULA. El parámetro de amplitud espacial estima la amplitud de esta frecuencia. El parámetro de frecuencia espacial y el parámetro de amplitud espacial se consideran un par de parámetros y en la Fig. 9B se ilustran como un parámetro por muestra a lo largo del índice de tiempo de muestreo. Los parámetros pueden calcularse mediante una estrategia apropiada o criterios meta, por ejemplo, mediante una técnica de mínimo error cuadrático medio (MMSE).

20 Como etapa 10-2, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-2B halla determinados valores "de calificación" en el vector de salida de estimación paramétrica, es decir, valores altos o máximos del parámetro de amplitud espacial. Los valores de calificación pueden ser, por ejemplo, valores cuyos valores absolutos son suficientemente altos o son un máximo. Cada valor de calificación del vector de salida de estimación paramétrica 90 puede corresponder a un frente de onda entrante para la ventana de muestreo.

30 Para cada valor de calificación, como etapa 10-3 el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-2B elige un tiempo de llegada (TOA) correspondiente al índice de tiempo t de ventana de muestreo para el valor de calificación, por ejemplo el índice de tiempo en el que se produce el valor absoluto máximo/de calificación del vector de salida de estimación paramétrica.

Asimismo, para cada valor de calificación, como etapa 10-4 el analizador 62-2B elige una dirección de llegada (DOA) como el valor de parámetro de frecuencia espacial en el tiempo de llegada, decidido en 10-3.

35 Como etapa 10-5, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-2B determina la amplitud como el valor de la amplitud espacial dividido por el número de elementos de antena de la agrupación.

40 Por tanto, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-2B busca una dirección óptima y prepara una estimación de canal que puede proporcionarse al detector como una firma espacial. La firma espacial incluye la dirección de llegada (DOA) y la amplitud. El coeficiente de canal (CC) de cada frente de onda se obtiene a partir de la dirección de llegada (DOA) y la amplitud de la manera explicada anteriormente con referencia a la expresión 3. El tiempo de llegada (TOA) y el coeficiente de canal (CC) se aplican al detector como se representa mediante las líneas 66-2B y 68-2B, respectivamente, en la Fig. 2B.

45 A partir de lo expuesto anteriormente debe entenderse que información que indica más de un frente de onda incidente puede observarse en una ventana de muestreo. Por ejemplo, con referencia al vector de salida de estimación paramétrica 90 de la Fig. 9B, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-2B puede ver otros números elevados y, para cada uno de esos números elevados de calificación, puede averiguarse un frente de onda entrante. Por ejemplo, si hay dos números elevados, la respuesta de impulso de canal puede reflejar dos frentes de onda entrantes. Para cada uno de los dos frentes de onda entrantes, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal elegirá un tiempo de llegada (TOA) y una dirección de llegada (DOA), así como una amplitud, los cuales se mapean con dos coeficientes de canal diferentes, donde estos dos coeficientes de canal diferentes forman parte de la estimación de canal.

55 La Fig. 4 mostró que un frente de onda llegó de manera individual a cada uno de los cuatro elementos de antena de ejemplo de una agrupación de antenas, proporcionando una salida de antena diferente (señal de banda base compleja) para cada elemento de antena; por ejemplo, la salida del elemento de antena 22-1 con el vector complejo a_{1-1} (y fase θ_{1-1}), la salida del elemento de antena 22-2 es el vector complejo a_{1-2} (y fase θ_{1-2}), y así sucesivamente. La combinación lineal de la señal de banda base de antena compleja y los vectores de pesos de antena W_i tienen el efecto de una suma o de una combinación coherente en el dominio de tiempo y en el dominio de espacio, como se muestra mediante la función de suma 100 de la Fig. 12.

La combinación coherente facilitada por los vectores de pesos de antena W_i se ilustra en la Fig. 11. En el caso de ejemplo de los cuatro elementos de antena mostrados en la Fig. 12, el efecto del peso perteneciente al índice de antena 2, denotado como W_2 , es rotar la salida del elemento de antena 22-2 para que su fase θ_{1-2} se alinee con la fase θ_{1-1} de la salida del elemento de antena 22-1, de la manera mostrada en la Fig. 11. Asimismo, el efecto del peso W_3 es rotar la salida del elemento de antena 22-3 para que su fase θ_{1-3} se alinee con la fase θ_{1-1} de la salida del elemento de antena 22-1. El efecto del peso W_4 es rotar la salida del elemento de antena 22-4 para que su fase θ_{1-4} se alinee con la fase θ_{1-1} de la salida del elemento de antena 22-1. Por simplicidad, la Fig. 11 ignora consideraciones de ruido, que tienden a hacer el vector resultante menos lineal. Debe observarse que en el párrafo anterior los vectores de peso se denotan como W_i , donde i denota el índice de antena del vector de pesos W , que se denota sin ningún índice.

En los módulos conjuntos espaciales de buscador y de estimador de canal, la SINR para hallar las pulsaciones (picos) de canal debe ser proporcional al número de elementos de antena que comprenden la agrupación. El funcionamiento de los módulos conjuntos espaciales de buscador y de estimador de canal puede adaptarse para tener en cuenta las variaciones de canal en el tiempo, por ejemplo, las variaciones espaciales en el entorno (por ejemplo, en las antenas de transmisión y de recepción).

El correlacionador de tipo FFT no paramétrico y las técnicas paramétricas ilustrados anteriormente, por ejemplo en la Fig. 2A y la Fig. 2B, respectivamente, son solamente dos técnicas de ejemplo para hallar los valores o "tonos" de la matriz de señales de antena 80 que están asociados a frentes de onda entrantes. Otros enfoques paramétricos se describen en o se deducen a partir del documento *Introduction To Spectral Analysis* de Stocia, Petre y Moses, Randolph, ISBN-013-258419-0, Prentice Hall, al cual se hace referencia en su totalidad, en particular al capítulo 4 del mismo.

El módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal y las técnicas de funcionamiento del mismo descritas anteriormente son adecuados para cualquier unidad de recepción que tenga varias antenas de recepción. Por tanto, el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal es particularmente adecuado para, pero sin estar limitado a, una estación base que tenga varias antenas. También abarca terminales móviles que tengan varias antenas.

MÓDULOS CONJUNTOS TEMPORALES DE BUSCADOR/ESTIMADOR

En otras realizaciones, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal procesa simultáneamente las señales recibidas en un elemento de antena a partir de varios conjuntos sucesivos de datos piloto (recibiéndose cada conjunto de datos piloto en su propia ventana de muestreo) para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal. Para ello, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal tiene en cuenta un desplazamiento Doppler o desplazamiento de frecuencia (utilizándose los términos "desplazamiento Doppler" y "desplazamiento de frecuencia" de manera intercambiable en la descripción del módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal). El desplazamiento de frecuencia puede atribuirse principalmente a un desplazamiento Doppler, pero también puede incluir un desplazamiento de frecuencia en los osciladores del transmisor y del receptor. Por simplicidad, tales desplazamientos de frecuencia se denominarán en lo sucesivo "desplazamientos Doppler" o "desplazamientos de frecuencia Doppler".

El desplazamiento Doppler puede deberse a un movimiento tal como el movimiento relativo del transmisor o del receptor (por ejemplo, por el movimiento de un terminal móvil), o el movimiento de un objeto o estructura del entorno que afecta a la trayectoria de la señal (lo que puede provocar un desplazamiento Doppler incluso en un transmisor fijo y un receptor fijo).

Para proporcionar la estimación de canal, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal considera esencialmente de manera concurrente varias señales (por ejemplo, varios conjuntos de datos piloto) recibidas por el elemento de antena. El módulo conjunto de buscador y estimador de canal aplica el coeficiente de canal y el tiempo de llegada a un detector que proporciona, por ejemplo, una estimación de símbolo.

En estas realizaciones, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal es esencialmente una unidad bidimensional, donde una segunda dimensión es una dimensión temporal impartida por los intervalos de tiempo en los que llegan los conjuntos sucesivos de datos piloto. Esta dimensión temporal, que implica esencialmente un procesamiento simultáneo y concurrente de señales recibidas en el elemento de antena a partir de cada uno de los diversos conjuntos de datos piloto, concede a estas realizaciones del módulo conjunto de buscador y estimador de canal la distinción de ser un módulo conjunto "temporal" de buscador y estimador de canal.

El módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal puede adoptar diferentes realizaciones y tener diferentes implementaciones. En un ejemplo, la realización ilustrativa del módulo conjunto temporal de buscador y

estimador de canal incluye un correlacionador de tipo no paramétrico (por ejemplo, un correlacionador que lleva a cabo un cálculo de una transformada rápida de Fourier (FFT)). En otro ejemplo, la realización ilustrativa del módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal utiliza un enfoque paramétrico.

5 La Fig. 13A ilustra una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal 24-13A que utiliza una técnica no paramétrica para determinar el tiempo de llegada y la estimación de canal, así como una agrupación de antenas de ejemplo asociada 22-13A. En el ejemplo de la Fig. 13A, la agrupación de antenas 22-13A se muestra presentando un elemento de antena 22-13A-1. Tal y como se explicará posteriormente, cada señal de banda base compleja obtenida del mismo elemento de antena (por ejemplo, el elemento de antena 22-13A-1) tras la recepción de cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto (como se describe posteriormente) se aplica al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13A, así como a un detector (no ilustrado en la Fig. 13A).

15 El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13A comprende una unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-13A. En una manifestación de ejemplo particular, la unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-13A incluye un generador de matrices de señales de antena 42-13A y una memoria de matrices de señales de antena 44-13A. Un analizador de matrices, que para la técnica no paramétrica de la Fig. 2A puede ser un correlacionador 50-13A, trabaja con valores complejos almacenados en la memoria de matrices de señales de antena 44-13A. El correlacionador 50-13A comprende preferentemente un filtro. El correlacionador 50-13A genera determinados valores de salida, los cuales pueden almacenarse, por ejemplo, en una memoria de valores de salida de correlacionador 52-13A. El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13A comprende además un generador de estimaciones de canal (CE) 60-13A. En la realización de ejemplo ilustrada, el generador de estimaciones de canal (CE) 60-13A comprende un analizador de salidas de correlacionador 62-13A y una interfaz de detector 64-13A. La interfaz de detector 64-13A genera, para cada frente de onda, una estimación de canal que incluye un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal (CC). En la Fig. 13A, el tiempo de llegada y el coeficiente de canal proporcionados por la interfaz de detector 64-13A se aplican al detector en las líneas 66-13A y 68-13A, respectivamente.

30 Tal y como se muestra en la Fig. 14, los módulos conjuntos temporales de buscador y estimador de canal tales como el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13A de la Fig. 13A observan la respuesta de canal de una antena (por ejemplo, la antena 22-13-1) para conjuntos de datos piloto que se intercalan o transmiten con otros datos (por ejemplo, datos de usuario). Por simplicidad, se supone que cada conjunto de datos piloto se recibe en una ventana de muestreo distinta. Sin embargo, esto no tiene por qué ser el caso, ya que diferentes conjuntos de datos piloto pueden recibirse de manera simultánea si los diferentes flujos están, por ejemplo, multiplexados por código. Simplemente, como un ejemplo ilustrativo, la Fig. 14 muestra cuatro conjuntos de datos piloto, es decir, los conjuntos piloto T1 a T4, intercalados con datos de usuario y recibidos en tiempos globales únicos (como se indica en el eje "T" de la Fig. 4).

40 Cada conjunto de datos piloto está normalmente en una trama diferente de otro conjunto de datos piloto. Por ejemplo, el conjunto piloto T1 puede estar en la trama 1, el conjunto piloto T2 puede estar en la trama 11, el conjunto piloto T3 puede estar en la trama 21, etc. "Intervalo de transmisión de trama" se refiere al tiempo entre dos tramas sucesivas que contienen datos piloto. El tiempo entre dos tramas sucesivas que contienen datos piloto se especifica normalmente mediante una norma u otra especificación.

45 Por tanto, la Fig. 14 refleja la transmisión periódica típica de datos piloto mediante la fuente de transmisión y también la recepción esperada de repeticiones de los datos piloto en el receptor en intervalos sucesivos. En vista de factores tales como el movimiento relativo del transmisor y el receptor, los intervalos sucesivos entre diferentes conjuntos de datos piloto no son necesariamente constantes.

50 Tal y como se muestra además en la Fig. 14, una unidad de manipulación de matrices de antena (tal como la unidad de manipulación de matrices de antena 40-13A de la realización de la Fig. 13A) muestrea las señales recibidas mediante el elemento de antena para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto, es decir, para los conjuntos piloto T1 a T4. Utilizando las señales muestreadas, el generador de matrices de señales de antena 42-13A genera una matriz de señales de antena tal como la matriz de señales de antena 110 ilustrada en la Fig. 14. La matriz de señales de antena 110 puede almacenarse de cualquier manera adecuada, tal como la memoria de matrices de antena 44-13A.

60 La matriz de señales de antena 110 es una matriz bidimensional funcionalmente dependiente. Dicho de otro modo, las muestras complejas se almacenan en la matriz de señales de antena 110 en función de dos índices diferentes. En la matriz de señales de antena 110 mostrada en la Fig. 14, un primer índice es un índice de tiempo de ventana de muestreo, ilustrado a lo largo del eje X de la Fig. 14. En realizaciones que utilizan códigos de ensanchamiento o códigos similares, el primer índice puede ser, por ejemplo, un índice de fragmento de información. Por tanto, el

índice de tiempo de ventana de muestreo señala un instante en la ventana de muestreo relativo al inicio de la ventana de muestreo respectiva. En la matriz de señales de antena 110 de la Fig. 14, un segundo índice, mostrado a lo largo del eje Y, es un índice de conjuntos piloto (que sirve como un índice de diferenciación dimensional). El índice de conjuntos piloto indica en cuál de los conjuntos de datos piloto se obtuvo la muestra. Dicho de otro modo, un índice de conjuntos piloto = T1 indica que la muestra se obtuvo del conjunto piloto T1, un índice de conjuntos piloto = T2 indica que la muestra se obtuvo del conjunto piloto T2, y así sucesivamente tal y como se ilustra mediante las flechas que conectan la matriz 110 con la ilustración de señal recibida con sus conjuntos sucesivos ilustrativos de datos piloto. Tal y como puede observarse, el índice de conjuntos piloto apunta a una fila diferente de la matriz de señales de antena 110, estando cada fila asociada a un conjunto diferente de los datos piloto.

La Fig. 14 muestra cuatro filas de la matriz de señales de antena 110 por coherencia con el ejemplo ilustrado en el que la matriz de señales de antena abarca cuatro conjuntos sucesivos de datos piloto. El número de conjuntos de datos piloto subsumidos en una matriz de señales de antena dada, y por tanto el valor máximo del índice de conjuntos piloto, puede variar de receptor a receptor, de manera que la elección de cuatro conjuntos de datos piloto en el presente ejemplo es solamente ilustrativa y a modo de ejemplo. En general, la elección del número de conjuntos de datos piloto que van a captarse simultáneamente por un módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal depende de lo rápido que cambie el desplazamiento Doppler. El número de pulsaciones/ondas incidentes depende de la multitrayectoria. Dicho de otro modo, en un espacio abierto hay una trayectoria directa y, por tanto, un solo coeficiente de canal/pulsación en la respuesta de impulso de canal.

La matriz de señales de antena 110 también se conceptualiza almacenando señales "diferenciadas dimensionalmente" adquiridas desde un único elemento de antena de la agrupación de antenas. En el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal, en el que la estructura de antena comprende una antena que proporciona señales para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto recibidos en diferentes intervalos de tiempo, las señales adquiridas por la antena están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión temporal o de tiempo. Por ejemplo, las señales adquiridas por la antena están diferenciadas dimensionalmente al adquirirse en diferentes intervalos de transmisión de trama.

Por simplicidad, los valores complejos almacenados en la matriz de señales de antena 110, incluyendo los valores complejos obtenidos de las antenas, no se ilustran en la Fig. 14. Tales valores complejos se ilustrarían en una tercera dimensión, por ejemplo fuera del plano de la Fig. 14. La matriz de señales de antena 110 incluye tanto ruido blanco complejo como (para los fines de la presente ilustración) una muestra compleja para al menos un frente de onda (plano o con otra forma conocida). Los frentes de onda tienen una fase conocida (detección no coherente temporal) y son secuencias de código moduladas.

Los valores complejos almacenados para cada columna de la matriz de señales de antena 110 de la Fig. 14 pueden conceptualizarse como un vector de receptividad dimensional. Es decir, un vector de receptividad dimensional está formado con los valores complejos tomados con respecto a un mismo índice de tiempo único de ventana de muestreo para cada uno de los conjuntos de señales piloto incluidos en la ventana de muestreo (por ejemplo, para los conjuntos T1 a T4 de la Fig. 14). Cada elemento tomado de una única fila de la matriz de señales de antena 110 tiene una fase diferente como la de los diferentes valores de θ ilustrados en la Fig. 5. Cuando se reciben por los diferentes elementos de antena, para el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal el cambio de fase en el tiempo es la frecuencia Doppler para el vector de receptividad dimensional. La velocidad de rotación de fase, o frecuencia, del vector de receptividad dimensional para la instancia de tiempo de ventana de muestreo puede interpretarse como el desplazamiento Doppler (DS). Por tanto, cada vector de receptividad dimensional corresponde a un desplazamiento de frecuencia Doppler distinto. Hay varias frecuencias posibles para el vector de receptividad dimensional, donde cada una de las diversas frecuencias posibles corresponde a un posible desplazamiento Doppler diferente para un frente de onda. Para las técnicas no paramétricas utilizadas en este documento, las diversas frecuencias posibles pueden ser una banda de frecuencias continua. Para diferenciar las diversas frecuencias posibles, cada diversa frecuencia posible se representa mediante un índice de frecuencia.

En el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal, la estimación de canal comprende, como se ha mencionado anteriormente, un tiempo de llegada (TOA) y un desplazamiento Doppler para cada frente de onda entrante en la ventana de muestreo (por ejemplo, un coeficiente de canal mapeado con un desplazamiento Doppler). Por lo tanto, la estimación de canal puede comprender un conjunto (de uno o más) pares de datos, incluyendo cada par un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal. Por tanto, la tarea del módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal es localizar un valor o "tono" en la matriz de señales de antena 110 que se corresponda mejor con un frente de onda entrante, por ejemplo localizar un valor o tono para cada frente de onda entrante en la ventana de muestreo. Esta tarea de localizar un valor o "tono" en la matriz de señales de antena 110 que se corresponda mejor con un frente de onda entrante puede llevarse a cabo mediante varias técnicas, incluyendo técnicas tanto paramétricas como no paramétricas. La técnica de la transformada rápida de Fourier (FFT) descrita a continuación es simplemente un ejemplo representativo e ilustrativo de un tipo de

correlacionador no paramétrico que puede utilizarse.

La Fig. 15 ilustra etapas básicas de ejemplo llevadas a cabo por un correlacionador de ejemplo 50-13A y un analizador de salidas de correlacionador 62-13A junto con el cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT).
 5 Como etapa 15-1, el correlacionador 50-13A de la Fig. 13A calcula la expresión 5.

$$Y(n,t) = \text{FFT}(n,X(n,t)) \quad \text{Expresión 5}$$

10 donde t es el índice de tiempo de ventana de muestreo, X(n,t) es la matriz de antenas complejas y n es el índice de frecuencia Doppler. Cada cálculo FFT es por tanto un cálculo FFT unidimensional en la señal de banda base y corresponde a un desplazamiento de frecuencia Doppler específico.

15 La salida del correlacionador 50-13A, es decir, los valores Y(n,t) calculados utilizando la expresión 1, se almacenan como valores de salida de correlacionador. Los valores de salida de correlacionador pueden almacenarse, por ejemplo, en la memoria de valores de salida de correlacionador 52-13A de la Fig. 13A.

20 El analizador de salidas de correlacionador 62-13A del generador de estimaciones de canal (CE) 60-13A busca los valores de salida de correlacionador y (como etapa 15-2) determina a partir de los mismos un valor absoluto máximo $|Y(n,t)|_{\max}$. Este valor absoluto máximo $|Y(n,t)|_{\max}$ es utilizado por el analizador de salidas de correlacionador 62-13A para determinar el desplazamiento Doppler (DS) y el tiempo de llegada (TOA) de un frente de onda entrante. En particular, como etapa 15-3, el analizador de salidas de correlacionador 62-13A elige un índice de tiempo t_{\max} de ventana de muestreo en el que $|Y(n,t)|_{\max}$ se produce como el tiempo de llegada del frente de onda entrante. Además, como etapa 15-4, el analizador de salidas de correlacionador 62-13A elige el índice Doppler n_{\max} en el que $|Y(n,t)|_{\max}$ se produce para determinar el desplazamiento Doppler (DS) del frente de onda entrante.
 25 Una amplitud para el frente de onda entrante se determina cuando el analizador de salidas de correlacionador 62-13A divide $|Y(n,t)|_{\max}$ por el número de conjuntos de datos piloto que comprenden la matriz de señales de antena (como etapa 15-5).

30 La expresión 5 y las etapas de la Fig. 15 representan un cálculo FFT genérico. En una situación específica de CDMA que utiliza un generador de codificación (tal como el generador de codificación 30 de la Fig. 1), puede realizarse un cálculo FFT comparable utilizando un refinamiento de la expresión 5 como el que aparece como expresión 2, descrita anteriormente, pero aplicada al módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal en lugar de al módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal

35 Como resultado del funcionamiento del módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13A, una estimación de canal precisa puede proporcionarse al detector como una firma temporal. En cada frente de onda, la firma temporal incluye el tiempo de llegada (TOA) mapeado con un desplazamiento (de frecuencia) Doppler. Tal y como se explica posteriormente, el coeficiente de canal (CC) de cada tiempo de llegada y frente de onda se obtiene a partir del desplazamiento de frecuencia Doppler. El tiempo de llegada (TOA) y el coeficiente de canal (CC) se aplican al detector como se representa mediante las líneas 66-13A y 68-13A, respectivamente, en la Fig. 13A.
 40

45 Tal y como se ha mencionado anteriormente, el coeficiente de canal (CC) para cada frente de onda se obtiene a partir del desplazamiento de frecuencia Doppler (DS). Recuérdese que en la etapa 15-4 el analizador de salidas de correlacionador 62-2B elige el índice de frecuencia n_{\max} en el que se produce $|Y(n,t)|_{\max}$ para representar el desplazamiento de frecuencia Doppler (DSF) del frente de onda entrante, donde el índice de frecuencia elegido corresponde a un desplazamiento Doppler (por ejemplo, θ' , es decir, la derivada de θ). El vector de respuesta de impulso de canal (es decir, el vector de propagación de agrupación) x se genera por tanto por la interfaz de detector 64-2B según la expresión 6.

$$C[e^{j2\pi fT + H}, e^{j2\pi fT2 + H}, e^{j2\pi fT3 + H}, \dots, e^{j2\pi fN + H}] \quad \text{Expresión 6}$$

50 En la expresión 6, C es la amplitud del frente de onda, f es la frecuencia de la señal (incluyendo el desplazamiento Doppler); T es el tiempo de periodo entre dos símbolos/secuencias piloto (que se supone que son periódicos, de manera análoga a la agrupación uniforme de la realización espacial), y H es un valor complejo de la señal en el primer símbolo/secuencia piloto, donde H es $\arg(\text{FFT max})$. Por simplicidad, el ruido se ha excluido de la expresión 6 y se supone que C es constante en el tiempo TN.
 55

En la anterior descripción, la función del generador de estimaciones de canal (CE) 60-2A, y en particular de la interfaz de detector 64-2A, es la de generar un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal (CC),

obteniéndose el coeficiente de canal a partir del desplazamiento Doppler, por ejemplo como se ha descrito anteriormente junto con la expresión 6. En una implementación alternativa de estas y otras realizaciones descritas en este documento, el propio detector (tal como el detector 26 ilustrado en la Fig. 1) tras recibir el tiempo de llegada (TOA) y el desplazamiento Doppler (DS) de cada frente de onda entrante, puede estar en condiciones de calcular el coeficiente de canal de cada frente de onda a partir de la información correspondiente de dirección de llegada (DOA). En tal caso, el tiempo de llegada y la dirección de llegada son proporcionados por la interfaz de detector 64-13A al detector.

Por tanto, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13A busca en un número discreto de posibles desplazamientos de frecuencia Doppler y elige la frecuencia Doppler con la correlación más alta (valor absoluto más alto).

Mientras que el módulo conjunto de buscador y estimador de canal de la Fig. 13A incluye un correlacionador no paramétrico (por ejemplo, un filtro) que lleva a cabo un cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT), en otras realizaciones de ejemplo el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal implementa técnicas paramétricas. Como en la realización de la Fig. 13A, el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal 24-13B de la Fig. 13B se muestra junto con su agrupación de antenas de ejemplo asociada 22-13B que comprende un elemento de antena 22-13B-1 que recibe los conjuntos sucesivos de datos piloto como en la Fig. 14.

De manera similar a la realización descrita anteriormente, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B puede comprender una unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-13B, que a su vez comprende un generador de matrices de señales de antena 42-13B y una memoria de matrices de señales de antena 44-13B, que funcionan de manera muy parecida a lo descrito anteriormente. Por ejemplo, los valores de banda base complejos almacenados en la memoria de matrices de señales de antena 44-13B también pueden conceptualizarse como la matriz 110 y, de este modo, tienen un índice de tiempo de ventana de muestreo. La matriz de señales de antena 110 se ha descrito anteriormente junto con la Fig. 14 y ahora se describe con referencia a la Fig. 16A con el fin de explicar en profundidad el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B de la Fig. 13B.

El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B comprende además el estimador paramétrico 51-13B, que proporciona un vector de salida de estimación paramétrica para su almacenamiento en la memoria 52-13B. Además, de manera similar a la realización anterior, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B comprende un generador de estimaciones de canal 60-13B que tiene un analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B y una interfaz de desmodulador 64-13B. Las etapas básicas llevadas a cabo por el estimador paramétrico 51-13B y por el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B del módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B de la Fig. 13B se ilustran en la Fig. 17.

Para cada índice de tiempo de ventana de muestreo de la matriz de señales de antena 110, como etapa 17-1 el estimador paramétrico 51-13B estima, por ejemplo, dos parámetros en cada instante de tiempo: un parámetro de frecuencia temporal y un parámetro de amplitud temporal. El parámetro de frecuencia temporal estima la frecuencia creada por las ondas incidentes cuando llegan a la antena para los símbolos piloto consecutivos. El parámetro de amplitud temporal estima la amplitud de esta frecuencia. El parámetro de frecuencia temporal y el parámetro de amplitud temporal se consideran un par de parámetros y en la Fig. 16B se ilustran como un parámetro por muestra a lo largo del índice de tiempo de muestreo.

Como etapa 17-2, llevada a cabo por el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B, el analizador 62-13B halla determinados valores "de calificación" en vectores de salida de estimación paramétrica, es decir, valores máximos del vector de amplitud temporal. Cada valor de calificación del vector de salida de estimación paramétrica 120 puede corresponder a un frente de onda entrante para la ventana de muestreo.

Para cada valor de calificación, como etapa 17-3 el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B elige un tiempo de llegada (TOA) correspondiente al índice de tiempo t de ventana de muestreo para el valor de calificación, por ejemplo el índice de tiempo en el que se produce el valor absoluto máximo/de calificación del vector de salida de estimación paramétrica.

Asimismo, para cada valor de calificación, como etapa 17-4 el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B elige un desplazamiento de frecuencia Doppler (DS) como el valor de parámetro de frecuencia temporal en el tiempo de llegada decidido en 17-3.

Como etapa 17-5, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B determina la amplitud como el valor absoluto máximo/de calificación dividido por el número de conjuntos de datos piloto en la serie.

Por tanto, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-13B busca un desplazamiento (de frecuencia) Doppler óptimo y prepara una estimación de canal que pueda proporcionarse al detector como una firma temporal. La firma temporal incluye el tiempo de llegada (TOA), así como el desplazamiento de frecuencia Doppler (DSF) y la amplitud. El coeficiente de canal (CC) de cada tiempo de llegada y frente de onda se obtiene a partir del desplazamiento Doppler (DS) de la manera descrita anteriormente con referencia a la expresión 6. El tiempo de llegada (TOA) y el coeficiente de canal (CC) se aplican al detector como se representa mediante las líneas 66-13B y 68-13B, respectivamente, en la Fig. 13B.

A partir de lo expuesto anteriormente debe entenderse que información que indica más de un frente de onda incidente puede observarse en una ventana de muestreo. Por ejemplo, con referencia al vector de salida de estimación paramétrica 120 de la Fig. 16B, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B puede ver otros números elevados y, para cada uno de esos números elevados de calificación puede averiguarse un frente de onda entrante. Por ejemplo, si hay dos números elevados, la respuesta de impulso de canal puede reflejar dos frentes de onda entrantes. Para cada uno de los dos frentes de onda entrantes, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal elegirá un tiempo de llegada (TOA) y un desplazamiento de frecuencia Doppler (DSF), así como una amplitud, los cuales se mapean con dos coeficientes de canal diferentes, donde estos dos coeficientes de canal diferentes forman parte de la estimación de canal para la respuesta de impulso de canal.

El funcionamiento del módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal se ha descrito anteriormente para un elemento de antena de una agrupación de antenas 22. Debe entenderse que la agrupación de antenas 22 puede comprender varios elementos de antena y que las operaciones descritas anteriormente pueden llevarse a cabo por separado con respecto a uno o más elementos de antena de la agrupación. Además, como se describe posteriormente, los principios del funcionamiento anterior pueden aplicarse de manera combinada con respecto a varias antenas de la agrupación de antenas.

El módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal y las técnicas de funcionamiento del mismo descritas anteriormente son particularmente adecuados para, pero sin limitarse a, una unidad de recepción que tenga solamente un elemento de antena, por ejemplo un terminal móvil con una sola antena. Sin embargo, tal y como se ha indicado anteriormente, las técnicas del módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal pueden utilizarse por separado pero en paralelo por varias antenas de un receptor.

Considérese, por ejemplo, la situación reflejada en la Fig. 11 en la que la salida del elemento de antena 22-13A-1 (o 22-13B-1) de un conjunto de datos piloto T1 con el vector complejo a_{1-1} (y fase θ_{1-1}), la salida del mismo elemento de antena para un conjunto de datos piloto T2 con el vector complejo a_{1-2} (y fase θ_{1-2}) y así sucesivamente. En esta situación, la combinación lineal de la señal de banda base de antena compleja y los vectores de pesos Doppler W_i también tienen el efecto de una suma o de una combinación coherente en el dominio de tiempo, como se muestra mediante la función de suma 100 de la Fig. 12. Sumando estos vectores complejos de manera coherente, el módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal mejora el rendimiento de la búsqueda y estimación de canal.

En situaciones en las que no hay desplazamiento Doppler (por ejemplo, el terminal móvil está quieto o se desplaza en una dirección radial con respecto a la estación base), el desplazamiento de frecuencia Doppler puede ser cero. En tales casos, los datos piloto del (de los) frente(s) de onda entrante(s) tienen esencialmente los mismos valores complejos. La situación de no desplazamiento Doppler es simplemente un caso especial del funcionamiento genérico del módulo conjunto temporal de buscador y estimador de canal descrito anteriormente. Cuando el terminal móvil empieza a moverse, puede producirse un desplazamiento Doppler, los módulos conjuntos temporales de buscador y estimador de canal obtienen el desplazamiento de frecuencia Doppler y, por lo tanto, se mejora la estimación de canal. La estimación de canal se mejora considerando el desplazamiento Doppler, independientemente de la magnitud del desplazamiento Doppler.

El correlacionador de tipo FFT no paramétrico y las técnicas de estimador paramétrico ilustradas anteriormente, por ejemplo mediante la Fig. 13A y la Fig. 13B, respectivamente, son solamente dos técnicas de ejemplo para hallar los valores o "tonos" en la matriz de señales de antena 110. Otros enfoques paramétricos se describen en o se deducen a partir del documento *Introduction To Spectral Analysis* de Stocia, Petre y Moses, Randolph, ISBN-013-258419-0, Prentice Hall, el cual se incorpora como referencia en su totalidad, en particular el capítulo 4 del mismo.

MÓDULOS CONJUNTOS ESPACIALES-TEMPORALES DE BUSCADOR Y ESTIMADOR

En algunas realizaciones adicionales, que combinan características de las realizaciones espaciales y temporales descritas anteriormente, varios elementos de antena de una agrupación de antenas proporcionan varias series de señales para conjuntos sucesivos de datos piloto. Los módulos conjuntos de buscador y estimador de canal de estas realizaciones adicionales consideran esencialmente de manera concurrente las diversas series de señales proporcionadas por las diversas antenas para determinar un tiempo de llegada y un coeficiente de canal.

Al considerar de manera concurrente las señales proporcionadas por las diversas antenas, la estimación de canal tiene en cuenta la dirección de llegada para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal. Al considerar de manera concurrente la serie de señales proporcionada por cada antena, donde cada serie comprende conjuntos sucesivos de datos piloto, la estimación de canal tiene en cuenta además un desplazamiento de frecuencia que puede ser un desplazamiento Doppler (producido por el movimiento relativo de un transmisor y un receptor o de un objeto en un campo entre el transmisor y el receptor). La estimación de canal se lleva a cabo considerando el dominio espacial y el dominio temporal de manera conjunta y concurrente.

Puesto que procesa la serie de señales de las diversas antenas, donde cada serie comprende conjuntos sucesivos de datos piloto, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal se considera una unidad tridimensional. Una primera dimensión se refiere a un índice de tiempo de una ventana de muestreo, es decir, un índice de tiempo de ventana de muestreo. Una segunda dimensión es una dimensión espacial impartida por la separación de las diversas antenas de la agrupación. Esta dimensión espacial, que implica esencialmente el procesamiento simultáneo y concurrente de las señales de las diversas antenas de la agrupación para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal, concede al módulo conjunto de buscador y estimador de canal la distinción de ser un módulo conjunto "espacial" de buscador y estimador de canal. Una tercera dimensión es una dimensión temporal impartida por el intervalo de tiempo reflejado por los conjuntos sucesivos de datos piloto. Esta dimensión temporal, que implica esencialmente un procesamiento simultáneo y concurrente de señales de cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal, concede al módulo conjunto de buscador y estimador de canal la distinción de ser un módulo conjunto "temporal" de buscador y estimador de canal. En vista de que es un módulo conjunto espacial y temporal de buscador y estimador de canal el módulo conjunto de buscador y estimador de canal también se denomina módulo conjunto espacial/temporal "combinado" de buscador y estimador de canal, o módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal.

La consideración concurrente de las diversas series de señales puede realizarse en un modo tridimensional esencialmente concurrente o en modo secuencial. El modo tridimensional esencialmente concurrente implica una determinación de una sola etapa del tiempo de llegada y del coeficiente de canal considerando simultáneamente las señales de todas las antenas de la agrupación para todas las diversas series. El modo secuencial implica una determinación de dos etapas del tiempo de llegada y del coeficiente de canal. En el modo secuencial, una primera etapa comprende determinar un tiempo de llegada y una dirección de llegada considerando de manera concurrente las diversas señales proporcionadas por las diversas antenas para una primera de las diversas series. Una segunda etapa del modo secuencial comprende refinar la estimación del coeficiente de canal en función del desplazamiento Doppler considerando de manera concurrente los elementos de las diversas series para los que se ha determinado la dirección de llegada en la primera etapa. Este procedimiento también puede llevarse a cabo al revés: determinando primero el tiempo de llegada y el desplazamiento Doppler y refinando después la estimación de canal considerando de manera concurrente los elementos de las diversas series para los que se ha determinado el desplazamiento Doppler en la primera etapa.

La Fig. 18A ilustra una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal 24-13A, así como una agrupación de antenas de ejemplo asociada 22-18A. La agrupación de antenas 22-18A incluye, a modo de ejemplo no limitativo, cuatro elementos de antena 22-18A-1 a 22-18-A-4. Aunque los elementos de antena 22-18A-1 a 22-18A-4 se muestran formando una agrupación lineal uniforme (ULA), debe entenderse que otras configuraciones de antena diferentes a la agrupación lineal uniforme son posibles, y que el número de elementos de antena de la agrupación de antenas puede variar (por ejemplo, el número de elementos de antena no está limitado a cuatro). Después de un procesamiento de radiofrecuencia adecuado, las señales obtenidas a partir de los elementos de antena se aplican como señales de banda base al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18A, así como a un detector (no ilustrado en la Fig. 18A).

El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18A comprende una unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-18A. En una manifestación de ejemplo particular, la unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-18A incluye un generador de matrices de señales de antena 42-18A y una memoria de matrices de señales de antena 44-18A. Un analizador de matrices, que para la técnica no paramétrica de la Fig. 18A puede ser un correlacionador 50-18A, trabaja con valores complejos almacenados en la memoria de matrices de señales de antena 44-18A. El correlacionador 50-18A comprende preferentemente un filtro. El correlacionador 50-18A genera determinados valores de salida, los cuales pueden almacenarse, por ejemplo, en una memoria de valores de salida de correlacionador 52-18A. El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18A comprende además un generador de estimaciones de canal (CE) 60-18A. En la realización de ejemplo ilustrada, el generador de estimaciones de canal (CE) 60-18A comprende un analizador de salidas de correlacionador 62-18A y una interfaz de detector 64-18A. La interfaz de detector 64-18A genera, para cada frente de onda, una estimación de canal que incluye un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal (CC). En la Fig. 18A, el tiempo de

llegada y el coeficiente de canal proporcionados por la interfaz de detector 64 se aplican al detector en las líneas 66-18A y 68-18A, respectivamente.

5 En el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18A de la Fig. 18A, para cada serie de conjuntos de datos piloto (representadas por los conjuntos de datos piloto T1 a T4), la unidad de manipulación de matrices de antena 40-18A muestrea las señales de cada elemento de antena. Utilizando las señales muestreadas, el generador de matrices de señales de antena 42-18A genera una matriz de señales de antena tal como la matriz de señales de antena 130 ilustrada en la Fig. 19. La matriz de señales de antena 130 puede almacenarse de cualquier manera adecuada, tal como la memoria de matrices de antena 44-18A.

10 La matriz de señales de antena 130 es una matriz tridimensional funcionalmente dependiente. Dicho de otro modo, las muestras complejas se almacenan en la matriz de señales de antena 130 en función de tres índices diferentes. En la matriz de señales de antena 130 mostrada en la Fig. 19, un primer índice es un índice de tiempo de ventana de muestreo, ilustrado a lo largo del eje X de la Fig. 19. En realizaciones que utilizan códigos de ensanchamiento o
15 códigos similares, el primer índice puede ser, por ejemplo, un índice de fragmentos de información. Por tanto, el índice de tiempo de ventana de muestreo señala un instante en la ventana de muestreo relativo al inicio de la ventana de muestreo.

20 En la matriz de señales de antena 130 de la Fig. 19, un segundo índice, mostrado a lo largo del eje Y, es un índice de antena. El índice de antena apunta a una fila diferente de la matriz de señales de antena 130, estado asociada cada fila a un elemento de antena diferente de la agrupación de antenas 22. La Fig. 19 muestra cuatro filas de la matriz de señales de antena 130 por coherencia con los ejemplos anteriores de una agrupación de antenas que comprende cuatro elementos de antena. Sin embargo, se reitera que el número de antenas en una agrupación de antenas, y por tanto el número de filas de la matriz de señales de antena 130 y el valor máximo del índice de
25 antena, puede variar de receptor a receptor, y que la elección de cuatro antenas es solamente ilustrativa y a modo de ejemplo.

30 En la matriz de señales de antena 130 de la Fig. 19, un tercer índice, mostrado a lo largo del eje Z, es un índice de conjuntos piloto. El índice de conjuntos piloto indica en cuál de los conjuntos de datos piloto se obtuvo la muestra. Dicho de otro modo, un índice de conjuntos piloto = T1 indica que la muestra se obtuvo del conjunto piloto T1, un índice de conjuntos piloto = T2 indica que la muestra se obtuvo del conjunto piloto T2, y así sucesivamente tal y como se ilustra mediante las flechas que conectan la matriz 110 con la ilustración de señal recibida con sus conjuntos sucesivos ilustrativos de datos piloto. Tal y como puede observarse, el índice de conjuntos piloto apunta a un plano diferente de la matriz de señales de antena 110, estando cada plano asociado a un conjunto diferente de
35 datos piloto.

La Fig. 19 muestra cuatro planos de la matriz de señales de antena 130 por coherencia con el ejemplo ilustrado en el que la matriz de señales de antena abarca cuatro conjuntos sucesivos de datos piloto. El número de conjuntos de datos piloto subsumidos en una matriz de señales de antena dada, y por tanto el valor máximo del índice de
40 conjuntos piloto, puede variar de receptor a receptor, de manera que la elección de cuatro conjuntos de datos piloto en el presente ejemplo es solamente ilustrativa y a modo de ejemplo. En general, la elección del número de conjuntos de datos piloto que van a captarse simultáneamente por un módulo conjunto espacio-temporal o espacial/temporal de buscador y estimador de canal depende de lo rápido que cambie el desplazamiento Doppler. El número de pulsaciones/ondas incidentes depende de la multitrayectoria. Dicho de otro modo, en un espacio
45 abierto hay una trayectoria directa y, por tanto, un solo coeficiente de canal/pulsación en la respuesta de impulso de canal.

Por simplicidad, los valores complejos almacenados en la matriz de señales de antena 130, incluyendo los valores complejos obtenidos de las antenas, no se ilustran en la Fig. 19. Tales valores complejos se ilustrarían en una
50 cuarta dimensión.

Junto con la matriz de señales de antena 130 de la Fig. 19, y en particular un caso WCDMA en el que la separación de los elementos de antena de la agrupación de antenas no es muy grande, puede considerarse que el frente de onda plano que llega a la agrupación de antenas llega en el mismo índice de tiempo de ventana de muestreo (o
55 índice de fragmento de información).

Suponiendo que el frente de onda llega a los elementos de antena en diferentes momentos (las diferencias de tiempo son pequeñas en comparación con el intervalo de tiempo de muestreo), los valores complejos almacenados de cada columna de la matriz de señales de antena 130 de la Fig. 19 tienen diferentes valores de fase (por ejemplo, θ) en cada fila de la columna. En una agrupación de elementos de antena separados de manera uniforme, la diferencia de fase es esencialmente la misma entre filas adyacentes de la misma columna (aunque el ruido puede ser un factor). Sin embargo, independientemente de la separación, la tasa de cambio de la fase con respecto al
60

tiempo (el tiempo de desplazamiento del frente de onda entrante) es la velocidad de rotación de fase, o frecuencia, para el vector formado por la columna, como se ha explicado anteriormente. Esta frecuencia por columna puede interpretarse como una dirección de llegada (DOA). Hay varias frecuencias posibles para las columnas de la matriz de señales de antena 130, donde cada una de las diversas frecuencias posibles corresponde a una posible dirección de llegada (DOA) de un frente de onda. Las diversas frecuencias de dirección de llegada posibles se representan mediante un índice de frecuencia "n₁".

De manera similar, para cada partición de la matriz de señales de antena 130 a lo largo de la dirección "Z", los valores complejos tienen diferentes valores de fase (por ejemplo, θ). Los elementos alineados en Z de diferentes planos "Z" de la matriz de señales de antena 130 tienen diferentes valores de fase en vista de un posible desplazamiento Doppler detectado por los diferentes conjuntos de datos piloto recopilados a través de varios conjuntos de datos de piloto en una serie. La tasa de cambio en el tiempo de la fase a lo largo de la dirección Z entre conjuntos sucesivos de datos piloto es una frecuencia que está asociada al desplazamiento Doppler. Hay varias frecuencias posibles para las particiones Z de la matriz de señales de antena 130, donde cada una de las diversas frecuencias posibles corresponde a un posible desplazamiento Doppler (DS) para el frente de onda. Los diversos desplazamientos de frecuencia Doppler posibles se representan mediante un índice de frecuencia "n₂".

El generador de estimaciones de canal 60-18A (véase la Fig. 18A) tiene como objetivo desarrollar una estimación de canal "compuesta" basándose en los valores complejos almacenados en la matriz de señales de antena 130. Como se ha mencionado anteriormente, puesto que una agrupación de antenas tal como la agrupación de antenas 22-18A tiene varios elementos de antena, hay una pluralidad correspondiente de canales a través de los cuales se reciben frentes de onda y, por consiguiente, también puede haber una respuesta de impulso de canal distinta o una estimación de canal distinta para cada uno de los diversos canales. Sin embargo, almacenando las muestras complejas en la matriz de señales de antena 130 de la manera descrita anteriormente y hallando simultáneamente el tiempo de llegada (TOA) y los coeficientes de canal en toda la matriz de señales de antena 130, el generador de estimaciones de canal 60-18A proporciona una estimación de canal que abarca todos los canales para todos los elementos de antena y, por esta razón, se conoce como una estimación de canal "compuesta".

La estimación de canal compuesta comprende, como se ha mencionado anteriormente, un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal para cada frente de onda entrante en la ventana de muestreo (por ejemplo, un coeficiente de canal mapeado con un tiempo de llegada (TOA)). Por lo tanto, la estimación de canal puede comprender un conjunto (de uno o más) pares de datos, donde cada par incluye un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal. Por tanto, la tarea del correlacionador 50-18A es la de localizar un valor o "tono" en la matriz de señales de antena 130 que se corresponda mejor con un frente de onda entrante, por ejemplo para localizar un valor o tono para cada frente de onda entrante en la ventana de muestreo.

La tarea de localizar, en una matriz de señales de antena tal como la matriz de señales de antena 130, un valor o "tono" que se corresponda mejor con un frente de onda entrante puede llevarse a cabo mediante varias técnicas, incluyendo técnicas tanto paramétricas como no paramétricas. Una transformada rápida de Fourier (FFT) llevada a cabo en un modo tridimensional esencialmente concurrente se describe a continuación junto con un ejemplo representativo e ilustrativo de una técnica no paramétrica en la que se utiliza el correlacionador 50-18A.

La Fig. 20 ilustra etapas básicas de ejemplo llevadas a cabo por un correlacionador de ejemplo 50-18A y un analizador 62-18A junto con el cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT). Junto con la Fig. 20, la Fig. 21 muestra una matriz de señales de antena, un vector de pesos Doppler y de pesos de antena y un vector de salida de estimación no paramétrica para una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal que funciona en un modo tridimensional esencialmente concurrente. Como etapa 20-1, el correlacionador 50-18A de la Fig. 18A calcula la expresión 8.

$$Y(n_1, n_2, t) = \text{FFT}(n_1, n_2, X(:, :t)) \quad \text{Expresión 8}$$

En la expresión 8, t es el índice de tiempo de ventana de muestreo, X(:, :t) es la matriz de antenas complejas (donde los dos puntos ":" representan todos los índices de antena para un índice de tiempo de ventana de muestreo), n₁ es el índice de frecuencia de dirección de llegada y n₂ es el índice de desplazamiento Doppler. Cada cálculo FFT es por tanto un cálculo FFT bidimensional en la señal de banda base y corresponde a una dirección de llegada específica (ilustrada por el índice de frecuencia n₁) y a un desplazamiento Doppler específico (ilustrado por el índice de frecuencia n₂).

La salida del correlacionador 50-18A, es decir, los valores Y(n₁, n₂, t) calculados utilizando la expresión 8, se almacenan como valores de salida de correlacionador. Los valores de salida de correlacionador pueden

almacenarse, por ejemplo, en la memoria de valores de salida de correlacionador 52-18A de la Fig. 18A.

El analizador de salidas de correlacionador 62-18A del generador de estimaciones de canal (CE) 60-18A busca los valores de salida de correlacionador $Y(n_1, n_2, t)$ y (como etapa 20-2) determina a partir de los mismos un valor absoluto máximo $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$. Este valor absoluto máximo $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ es utilizado por el analizador de salidas de correlacionador 62-18A para determinar la dirección de llegada (DOA) y el tiempo de llegada (TOA) de un frente de onda entrante visto en la ventana de muestreo. En particular, como etapa 20-3, el analizador de salidas de correlacionador 62-18A elige un índice de tiempo t_{\max} de ventana de muestreo en el que $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ se produce como el tiempo de llegada del frente de onda entrante. Además, como etapa 20-4, el analizador de salidas de correlacionador 62-18A elige el índice de frecuencia n_{1_max} en el que $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ se produce para determinar la dirección de llegada (DOA) del frente de onda entrante. Además, como etapa 20-5, el analizador de salidas de correlacionador 62-18A elige el índice n_{2_max} en el que $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ se produce para determinar el desplazamiento Doppler del frente de onda entrante. Una amplitud para el frente de onda entrante se determina cuando el analizador de salidas de correlacionador 62-18A divide $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ por el producto del número de antenas que comprenden la agrupación de antenas y el número de conjuntos de datos piloto incluidos en la matriz 130 (como etapa 20-6).

La expresión 8 y las etapas de la Fig. 20 representan un cálculo FFT genérico. En una situación específica de CDMA que utiliza un generador de codificación (tal como el generador de codificación 30 de la Fig. 1), puede realizarse un cálculo FFT comparable utilizando un refinamiento de la expresión 8 que aparece como expresión 9.

$$Y(n_1, n_2, t) = \sum C_j * \text{FFT}(n_1, n_2, X(:, :, t)), j = 1, K \quad \text{Expresión 9}$$

La expresión 9 se obtiene a partir de la expresión 1, mencionándose además que C_j es un valor j de símbolo de secuencia de codificación y K es una longitud de la secuencia de codificación.

Como resultado del funcionamiento del módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal 24-18A, una estimación de canal precisa puede proporcionarse al detector como una firma espacial y temporal espacio-temporal. La firma espacial incluye la dirección de llegada; la firma temporal incluye el desplazamiento Doppler. El coeficiente de canal (CC) de cada tiempo de llegada y elemento de antena se obtiene a partir de la dirección de llegada (DOA) y del desplazamiento Doppler. El tiempo de llegada (TOA) y el coeficiente de canal (CC) se aplican al detector como se representa mediante las líneas 66-18A y 68-18A, respectivamente, en la Fig. 18A.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el coeficiente de canal (CC) para cada frente de onda se obtiene a partir de la dirección de llegada (DOA) y del desplazamiento Doppler (DS). Recuérdese que en la etapa 18-4 el analizador 62-18A elige el índice de frecuencia n_{1_max} en el que se produce $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ para representar la dirección de llegada (DOA) del frente de onda entrante, donde el índice de frecuencia elegido corresponde a una dirección de llegada (por ejemplo, θ). Además, analizador 62-18A elige el índice de frecuencia n_{2_max} en el que $|Y(n_1, n_2, t)|_{\max}$ se produce para representar el desplazamiento Doppler del frente de onda entrante, donde el índice de frecuencia elegido corresponde a un desplazamiento Doppler. El vector de respuesta de impulso de canal (es decir, el vector de propagación de agrupación) x se genera por tanto por la interfaz de detector 64-18A según la expresión 10 (para elementos de antena isotrópicos idénticos).

$$x = [(1, e^{(jkd * \text{sen}\theta)}, e^{(jkd * 2\text{sen}\theta)}, \dots, e^{(jkd * (K-1)\text{sen}\theta)}] * C0;$$

$$(1, e^{(jkd * \text{sen}\theta)}, e^{(jkd * 2\text{sen}\theta)}, \dots, e^{(jkd * (K-1)\text{sen}\theta)}) * C1; \dots$$

$$(1, e^{(jkd * \text{sen}\theta)}, e^{(jkd * 2\text{sen}\theta)}, \dots, e^{(jkd * (K-1)\text{sen}\theta)}) * CN \quad \text{Expresión 10}$$

En la expresión 10, $CN = e^{j2\pi fTN = H}$, donde H y otros parámetros son como se ha definido anteriormente.

En la anterior descripción, la función del generador de estimaciones de canal (CE) 60-18A, y en particular de la interfaz de detector 64-18A, es la de generar un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal (CC), obteniéndose el coeficiente de canal a partir de la dirección de llegada y el desplazamiento Doppler, por ejemplo como se ha descrito anteriormente junto con la expresión 11. En una implementación alternativa de estas y otras realizaciones descritas en este documento, el propio detector (tal como el detector 26 ilustrado en la Fig. 1) tras recibir el tiempo de llegada (TOA), la dirección de llegada (DOA) y el desplazamiento Doppler de cada frente de onda entrante, puede estar en condiciones de calcular el coeficiente de canal de cada frente de onda a partir de la

información correspondiente de dirección de llegada (DOA) y de desplazamiento Doppler. En este caso, el tiempo de llegada, la dirección de llegada y el desplazamiento Doppler son proporcionados por la interfaz de detector 64 al detector.

5 El funcionamiento del correlacionador 50-18A para calcular la expresión 8 o la expresión 9 es un ejemplo de un modo tridimensional esencialmente concurrente, ya que la evaluación de la expresión 8 (o de la expresión 9 para una implementación WCDMA) implica una determinación de una sola etapa del tiempo de llegada y del coeficiente de canal considerando simultáneamente señales de todas las antenas de la agrupación para todas las diversas series. Dicho de otro modo, en el ejemplo ilustrado del modo tridimensional esencialmente concurrente, la transformada rápida de Fourier (FFT) de la expresión 8 o de la expresión 9 tenía tres argumentos: n_1 , n_2 y $X(:,t)$, de manera que la FFT se realizó con todos los argumentos de manera esencialmente simultánea.

15 A diferencia del modo tridimensional esencialmente concurrente, el modo secuencial implica una determinación de dos etapas del tiempo de llegada y el coeficiente de canal. En una primera manera alternativa de implementar el modo secuencial, una primera etapa comprende determinar un tiempo de llegada y una dirección de llegada considerando de manera concurrente las diversas señales proporcionadas por las diversas antenas para una primera de las diversas series. Por ejemplo, la primera etapa de la primera alternativa del modo secuencial puede implicar calcular una FFT como la de la expresión 1 (o como la de la expresión 2 para WCDMA). A partir de los resultados de la primera etapa o primer cálculo FFT se determina un tiempo de llegada (TOA) y un coeficiente de canal provisional. Después, como una segunda etapa de la primera alternativa del modo secuencial, el coeficiente de canal provisional se refina teniendo en cuenta un posible desplazamiento de frecuencia (por ejemplo, desplazamiento Doppler) considerando además los elementos de las diversas series para los que se ha determinado la dirección de llegada en la primera etapa. En una segunda manera alternativa de implementar el modo secuencial, el orden de las etapas se invierte esencialmente: en primer lugar se lleva a cabo la FFT en el dominio temporal para decidir el tiempo de llegada y el coeficiente de canal provisional y, en segundo lugar, el coeficiente de canal provisional se refina mediante la FFT en el dominio espacial.

30 Los procedimientos de la primera implementación alternativa del modo secuencial para la técnica no paramétrica se ilustran en la Fig. 22A y la Fig. 22B junto con la Fig. 23. La Fig. 22A y la Fig. 22B son una vista esquemática de una matriz de señales de antena, un vector de pesos de antena y un vector de salida de estimación no paramétrica para una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal secuencial de buscador y estimador de canal. En la Fig. 22A, la FFT funciona en el dominio espacial y calcula la FFT (ilustrada por el vector FFT W_i) para la matriz de antenas de cada intervalo de tiempo. El tiempo de llegada se elige seleccionando el índice de dirección de llegada y el índice de tiempo con el valor absoluto más alto. Si este índice no coincide para todos los intervalos de tiempo, el índice puede elegirse con algún procedimiento, por ejemplo, la decisión mayoritaria.

40 Después de haber elegido el índice de tiempo de llegada y el índice de dirección de llegada, estas muestras procesadas por FFT se someten adicionalmente a un proceso FFT mediante un cálculo FFT en el dominio temporal (ilustrado por el vector de frecuencia FFT W_j). La Fig. 22B ilustra las muestras filtradas espacialmente para el tiempo de llegada y la dirección identificados (marcados en gris en la figura) y filtradas con los vectores temporales. Después del segundo procesamiento FFT, la estimación de canal se crea a partir de la muestra con la magnitud más alta. Las etapas 23-1 a 23-7 de la Fig. 23 también describen el procedimiento de la primera implementación alternativa del modo secuencial.

45 Los procedimientos de la segunda implementación alternativa del modo secuencial para la técnica no paramétrica se ilustran en la Fig. 24A y en la Fig. 24B junto con la Fig. 25. La Fig. 24A y la Fig. 24B muestran una matriz de señales de antena, un vector de pesos Doppler y un vector de salida de estimación no paramétrica. En la Fig. 24A, la FFT funciona en el dominio temporal y calcula la FFT (ilustrada por el vector FFT W_j) para la matriz de antenas para cada intervalo de tiempo. El tiempo de llegada se elige seleccionando el índice Doppler y el índice de tiempo con el valor absoluto más alto. Si este índice no coincide para todos los intervalos de tiempo, el índice puede elegirse con algún procedimiento, por ejemplo, la decisión mayoritaria. Después de haber elegido el índice de tiempo de llegada y el índice Doppler, estas muestras procesadas por FFT se someten adicionalmente a un proceso FFT mediante un cálculo FFT en el dominio espacial (ilustrado por el vector de frecuencia FFT W_i). La Fig. 24B ilustra las muestras filtradas espacialmente para el tiempo de llegada y el desplazamiento Doppler identificados (marcados en gris en la figura) y filtradas con los vectores espaciales. Después del segundo procesamiento FFT, la estimación de canal se crea a partir de la muestra con la magnitud más alta. Las etapas 25-1 a 25-7 de la Fig. 25 también describen el procedimiento de la segunda implementación alternativa del modo secuencial.

60 Mientras que el módulo conjunto de buscador y estimador de canal de la Fig. 18A incluye un correlacionador de tipo no paramétrico (por ejemplo, un filtro que lleva a cabo un cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT)), en otras realizaciones de ejemplo el módulo conjunto de buscador y estimador de canal implementa técnicas paramétricas. Como en la realización de la Fig. 18A, el módulo conjunto temporal paramétrico de buscador y

estimador de canal 24-18B de la Fig. 18B se muestra junto con su agrupación de antenas de ejemplo asociada 22-18B. De nuevo a modo de ejemplo, la agrupación de antenas 22-18B incluye cuatro elementos de antena 22-18B-1 a 22-18B-4. Cada señal obtenida a partir de los elementos de antena se aplica al módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18B, así como a un detector (no ilustrado en la Fig. 18B).

5 De manera similar a la realización descrita anteriormente, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18B puede comprender una unidad de manipulación de matrices de señales de antena 40-18B, que a su vez comprende un generador de matrices de señales de antena 42-18B y una memoria de matrices de señales de antena 44-18B, que funcionan de manera muy parecida a la descrita anteriormente. Por ejemplo, los valores de banda base complejos almacenados en la memoria de matrices de señales de antena 44-18B también pueden conceptualizarse como la matriz 130 y, de este modo, tienen un índice de tiempo de ventana de muestreo. La matriz de señales de antena 80 se ha descrito anteriormente junto con la Fig. 19.

10 El módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18B comprende además un estimador paramétrico 51-18B que genera un vector de salida de estimación paramétrica. Además, de manera similar a la realización anterior, el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18B comprende un generador de estimaciones de canal 60-18B que tiene un analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-18B y una interfaz de desmodulador 64-18B.

15 La Fig. 26 muestra una matriz de señales de antena y un vector de salida de estimación paramétrica para una realización de ejemplo de un módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal. Al igual que con las técnicas no paramétricas, las técnicas paramétricas pueden implementarse en un modo tridimensional esencialmente concurrente o en un modo secuencial, donde el modo secuencial tiene dos implementaciones alternativas.

20 La Fig. 27 muestra etapas básicas representativas que se llevan a cabo en un modo paramétrico tridimensional esencialmente concurrente. La etapa 27-1 muestra que el módulo conjunto de buscador y estimador de canal 24-18B produce un vector de salida de estimación paramétrica. Después, como etapa 27-2, el analizador 62-18B halla los valores "de calificación" en el vector de salida de estimación paramétrica.

25 Para cada valor de calificación, como etapa 27-3 el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-18B elige un tiempo de llegada (TOA) correspondiente al índice de tiempo t de ventana de muestreo para el valor de calificación, por ejemplo el índice de tiempo en el que se produce el valor absoluto máximo/de calificación del vector de salida de estimación paramétrica.

30 Para cada valor de calificación, como etapa 27-4 el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-18B elige un parámetro de frecuencia espacio-temporal correspondiente a la frecuencia espacio-temporal para el valor absoluto máximo/de calificación del vector de salida de estimación paramétrica.

35 Como etapa 27-5, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-13B determina la amplitud como el valor para el valor de amplitud espacio-temporal para el tiempo de llegada decidido en la etapa 27-2.

40 A partir de lo expuesto anteriormente debe entenderse que información que indica más de un frente de onda incidente puede observarse en una ventana de muestreo. Por ejemplo, con referencia al vector de salida de estimación paramétrica 140 de la Fig. 26, el analizador de vectores de salida de estimación paramétrica 62-18B puede ver otros (por ejemplo, varios) números elevados y, para cada uno de esos números elevados de calificación puede averiguarse un frente de onda entrante.

45 Los procedimientos de la primera implementación alternativa del modo secuencial para la técnica paramétrica se ilustran en la Fig. 28A y la Fig. 28B junto con la Fig. 29. La Fig. 28A y la Fig. 28B muestran un módulo conjunto paramétrico secuencial espacio-temporal de buscador y estimador de canal para esta primera implementación alternativa. En la Fig. 28A y la Fig. 28B, el enfoque paramétrico funciona en primer lugar en el dominio espacial y calcula los parámetros de frecuencia espaciales para cada instante de tiempo en los intervalos de transmisión de tiempo. El tiempo de llegada se elige seleccionando el valor de amplitud de frecuencia espacial con el valor absoluto más alto. La dirección de llegada, DOA, es el valor del parámetro de frecuencia espacial. Si este tiempo de llegada no coincide para todos los intervalos de tiempo, el tiempo de llegada puede escogerse con algún procedimiento, por ejemplo la decisión mayoritaria. Tal y como se muestra en la Fig. 28B, después de haberse elegido el índice de tiempo de llegada y la dirección de llegada, estas muestras se procesan mediante el enfoque paramétrico aplicado en el dominio temporal. Después del segundo procesamiento, la estimación de canal se crea a partir de los parámetros temporales. La etapas 29-1 a 29-5 de la Fig. 29 también describen el procedimiento de la primera implementación alternativa del modo secuencial paramétrico.

La Fig. 30A y la Fig. 30B muestran un módulo conjunto paramétrico secuencial espacio-temporal de buscador y estimador de canal para una segunda implementación alternativa de un módulo conjunto paramétrico secuencial espacio-temporal de buscador y estimador de canal. En la Fig. 30A y la Fig. 30B, el enfoque paramétrico funciona en primer lugar en el dominio temporal y calcula los parámetros de frecuencia temporales para cada instante de tiempo en los intervalos de transmisión de tiempo. El tiempo de llegada se elige seleccionando el valor de amplitud de frecuencia temporal con el valor absoluto más alto. El desplazamiento de frecuencia Doppler, DSF, es el valor del parámetro de frecuencia temporal. Si este tiempo de llegada no coincide para todos los intervalos de tiempo, el tiempo de llegada puede escogerse con algún procedimiento, por ejemplo la decisión mayoritaria. Tal y como se muestra en la Fig. 30B, después de haberse elegido el índice de tiempo de llegada y el DSF, estas muestras se procesan mediante el enfoque paramétrico aplicado en el dominio espacial. Después del segundo procesamiento, la estimación de canal se crea a partir de los parámetros espaciales. Las etapas 31-1 a 31-7 de la Fig. 31 también describen el procedimiento de la segunda implementación alternativa del modo secuencial paramétrico.

El correlacionador de tipo FFT no paramétrico y las técnicas lógicas de combinación lineal paramétricas ilustradas anteriormente son solamente dos técnicas de ejemplo para hallar los valores o "tonos" de la matriz de señales de antena 130 que están asociados a frentes de onda entrantes. Otros enfoques paramétricos se describen en o se deducen a partir del documento *Introduction To Spectral Analysis* de Stocia, Petre y Moses, Randolph, ISBN-013-258419-0, Prentice Hall, el cual se incorpora como referencia en su totalidad, en particular el capítulo 4 del mismo.

El módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal y las técnicas de funcionamiento del mismo descritas anteriormente son adecuados para cualquier unidad de recepción que tenga varias antenas de recepción. Por tanto, el módulo conjunto espacial de buscador y estimador de canal es particularmente adecuado para, pero sin estar limitado a, una estación base que tenga varias antenas. El módulo conjunto espacio-temporal de buscador y estimador de canal y las técnicas de funcionamiento del mismo también abarcan terminales móviles que tengan varias antenas.

Por tanto, los módulos conjuntos de buscador y estimador de canal utilizan un enfoque de detección y estimación multidimensional y óptimo. Los módulos conjuntos multidimensionales de buscador y estimador de canal tipificados por los descritos en este documento tienen un mejor rendimiento que los buscadores tradicionales unidimensionales. Los módulos conjuntos multidimensionales de buscador y estimador de canal tienen una mayor SNIR para detectar el tiempo de llegada, lo que aumenta la probabilidad de que pueda averiguarse el tiempo de llegada correcto. A su vez, esto da lugar a una mejor estimación de canal.

En lo que respecta a la implementación, los bloques, unidades y funcionalidades de las diferentes realizaciones del módulo conjunto de buscador y estimador de canal descrito en este documento pueden adoptar varias formas. Por ejemplo, los expertos en la técnica apreciarán que una o más de las funcionalidades del módulo conjunto de buscador y estimador de canal pueden implementarse utilizando circuitos de hardware individuales, utilizando funcionalidad software junto con un microprocesador digital programado de manera adecuada o un ordenador de propósito general, utilizando un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) y/o utilizando uno o más procesadores de señales digitales (DSP). Además, no es necesario que las funcionalidades del módulo conjunto de buscador y estimador de canal estén delimitadas específicamente de las maneras ilustradas, entendiéndose (por ejemplo) que las funcionalidades pueden distribuirse, combinarse, subdividirse o reorganizarse de otro modo para conseguir esencialmente los mismos resultados.

La utilización y el funcionamiento de los módulos conjuntos de buscador y estimador de canal no están limitados a las transmisiones WCDMA, aunque en algunos casos WCDMA se ha descrito anteriormente como un entorno de implementación de ejemplo. Los principios, técnicas, procedimientos y aparatos descritos en este documento pueden adaptarse o ampliarse para que sean compatibles con varios tipos de redes, no solamente WCDMA sino también con otras redes (por ejemplo, GSM).

En lo expuesto anteriormente, debe apreciarse que otros aspectos de la estructura y el funcionamiento de un receptor inalámbrico que son tangenciales a los contenidos descritos anteriormente se han omitido para una mayor claridad. Tales aspectos, bien entendidos por los expertos en la técnica, incluyen de manera no limitativa conformación de pulsos, frecuencia de muestreo, fluctuaciones de tiempo, alineación de tiempo, desmodulación, interferencia entre símbolos (ISI) e interferencia cocanal (CCI).

Aunque la invención se ha descrito en relación con lo que se considera actualmente la realización más práctica y preferida, debe entenderse que la invención no está limitada a la realización descrita sino que, por el contrario, pretende cubrir varias realizaciones como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Un receptor de comunicaciones inalámbricas que comprende una estructura de antenas (22) que adquiere señales diferenciadas dimensionalmente, estando caracterizado el receptor de comunicaciones inalámbricas por:

5 un módulo conjunto de buscador y estimador de canal (24) que considera simultáneamente las diversas señales diferenciadas dimensionalmente, con respecto a una dimensión espacial y/o una dimensión temporal, proporcionadas por la estructura de antenas (22) para determinar un tiempo de llegada y un coeficiente de canal, donde el módulo conjunto de buscador y estimador de canal (24) comprende:

10 - una matriz de señales de antena (44) en la que los valores complejos que indican la señal diferenciada dimensionalmente recibida en una ventana de muestreo se almacenan en función de un índice de tiempo de ventana de muestreo y un índice de diferenciación dimensional;

15 - un correlacionador (50) que localiza uno o varios valores de la matriz de señales de antena (44) para su utilización para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal, donde para la localizar los valores el correlacionador (50) considera un vector de recepción dimensional formado a partir de la matriz de señales de antena (44) con respecto a un índice de tiempo de ventana de muestreo, presentando el vector de receptividad dimensional una frecuencia relativa a una diferencia entre componentes de fase de valores complejos del vector de receptividad dimensional, habiendo varias frecuencias posibles para la receptividad dimensional, estando representadas las diversas frecuencias posibles por un índice de frecuencia;

20 - un analizador (60) que utiliza el o los valores localizados por el correlacionador (50) para generar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal.

25 2.- El aparato según la reivindicación 1, en el que el módulo conjunto de buscador y estimador de canal (24) considera simultáneamente las diversas señales diferenciadas dimensionalmente proporcionadas por las diversas antenas para determinar varios tiempos de llegada y varios coeficientes de canal, representándose un frente de onda entrante mediante uno de los diversos tiempos de llegada y un coeficiente correspondiente de los diversos coeficientes de canal.

30 3.- El aparato según la reivindicación 1, en el que la estructura de antenas (22) comprende una agrupación de varias antenas y en el que las señales adquiridas por diferentes antenas de la agrupación están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión espacial.

35 4.- El aparato según la reivindicación 3, en el que el tiempo de llegada y el coeficiente de canal se determinan simultáneamente por el módulo conjunto de buscador y estimador de canal (24).

40 5.- El aparato según la reivindicación 1, en el que la estructura de antenas (22) comprende una antena que proporciona señales para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto recibidos por la antena como las señales diferenciadas dimensionalmente, por lo que las señales adquiridas por la antena están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión temporal.

45 6.- El aparato según la reivindicación 1, en el que para cada combinación de varias frecuencias posibles y varios índices de tiempo, el correlacionador (50) calcula:

$$Y(n,t) = FFT(n,X(:,t))$$

Donde:

50 t es el índice de tiempo de ventana de muestreo;

X(:,t) es la matriz de antenas complejas, donde : representa todos los índices de antena para un índice de tiempo de ventana de muestreo;

55 n es el índice de frecuencia.

7.- El aparato según la reivindicación 6, en el que para cada combinación de varias frecuencias posibles y varios índices de tiempo, el correlacionador (50) calcula:

$$60 Y(n,t) = \sum C_j * FFT(n,X(:,t)), j = 1,K$$

donde C_j es un valor j de símbolo de secuencia de codificación y K es una longitud de la secuencia de codificación.

5 8.- El aparato según la reivindicación 1, en el que el módulo conjunto de buscador y estimador de canal (24) comprende:

10 una matriz de señales de antena (44) en la que los valores complejos que indican la señal diferenciada dimensionalmente recibida en una ventana de muestreo se almacenan en función de un índice de tiempo de ventana de muestreo y un índice de diferenciación dimensional;

un estimador paramétrico (51) que utiliza valores complejos de la matriz de antenas y genera un vector de salida de estimación paramétrica;

15 un analizador (60) que utiliza el vector de salida de estimación paramétrica para generar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal.

20 9.- El aparato según la reivindicación 8, en el que el analizador (60) utiliza valores absolutos de elementos del vector de salida de estimación paramétrica para determinar el tiempo de llegada y la dirección de llegada del frente de onda entrante.

25 10.- El aparato según la reivindicación 1, en el que la estructura de antenas (22) comprende una antena que proporciona señales para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto recibidos por la antena como las señales diferenciadas dimensionalmente, y en el que cada parámetro de frecuencia espacial corresponde a un posible desplazamiento Doppler.

30 11.- Un procedimiento para hacer funcionar un receptor de comunicaciones inalámbricas, caracterizado por:

adquirir señales diferenciadas dimensionalmente, con respecto a una dimensión espacial y/o una dimensión temporal, en una estructura de antenas (22);

35 utilizar simultáneamente las señales diferenciadas dimensionalmente para determinar un tiempo de llegada y un coeficiente de canal;

almacenar, en una matriz de señales de antena (44), valores complejos que indican las señales diferenciadas dimensionalmente recibidas en una ventana de muestreo en función de un índice de tiempo de ventana de muestreo y un índice de diferenciación dimensional;

40 localizar uno o varios valores en la matriz de señales de antena (44) para utilizarse para determinar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal, donde la localización de los valores comprende además utilizar un vector de recepción dimensional formado a partir de la matriz de señales de antena (44) con respecto a un índice de tiempo de ventana de muestreo, presentando el vector de receptividad dimensional una frecuencia relativa a una diferencia entre componentes de fase de valores complejos del vector de receptividad dimensional, habiendo varias frecuencias posibles para la receptividad dimensional, representándose las diversas frecuencias posibles mediante un índice de frecuencia;

45 utilizar el o los valores localizados para generar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal.

50 12.- El procedimiento según la reivindicación 11, en el que la estructura de antenas (22) comprende una agrupación de varias antenas, y comprendiendo además adquirir las señales diferenciadas dimensionalmente a partir de diferentes antenas de la agrupación, por lo que las señales están diferenciadas dimensionalmente con respecto a una dimensión espacial.

55 13.- El procedimiento según la reivindicación 12, que comprende además determinar simultáneamente el tiempo de llegada y el coeficiente de canal utilizando un módulo conjunto de buscador y estimador de canal (24).

14.- El procedimiento según la reivindicación 13, en el que el coeficiente de canal de tiempo es un coeficiente de canal compuesto que tiene en cuenta respuestas de impulso de canal para canales asociados a cada una de las diversas antenas de la agrupación de antenas.

60 15.- El procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además recibir, en una antena de la estructura de antenas, señales para cada uno de los conjuntos sucesivos de datos piloto recibidos por la antena como las señales diferenciadas dimensionalmente, por lo que las señales adquiridas por la antena están diferenciadas

dimensionalmente con respecto a una dimensión temporal.

16.- El procedimiento según la reivindicación 11, en el que para cada combinación de varias frecuencias posibles y varios índices de tiempo, calcula:

5

$$Y(n,t) = \text{FFT}(n,X(:,t))$$

Donde:

10 t es el índice de tiempo de ventana de muestreo;

X(:,t) es la matriz de antenas complejas, donde : representa todos los índices de antena para un índice de tiempo de ventana de muestreo;

15 n es el índice de frecuencia.

17.- El procedimiento según la reivindicación 16, en el que para cada combinación de varias frecuencias posibles y varios índices de tiempo, calcula:

20

$$Y(n,t) = \sum C_j * \text{FFT}(n,X(:,t)), j = 1,K$$

donde C_j es un valor j de símbolo de secuencia de codificación y K es una longitud de la secuencia de codificación.

25 18.- El procedimiento según la reivindicación 17, en el que la estructura de antenas (22) comprende una agrupación de varias antenas y donde cada una de las diversas frecuencias posibles para el vector de receptividad dimensional representa una posible dirección de llegada diferente del frente de onda entrante.

19.- El procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además:

30 almacenar, en una matriz de señales de antena (44), valores complejos que indican las señales diferenciadas dimensionalmente recibidas en una ventana de muestreo en función de un índice de tiempo de ventana de muestreo y un índice de diferenciación dimensional;

35 formar una estimación paramétrica utilizando valores complejos de la matriz de antenas y generar un vector de salida de estimación paramétrica;

utilizar el vector de salida de estimación paramétrica para generar el tiempo de llegada y el coeficiente de canal.

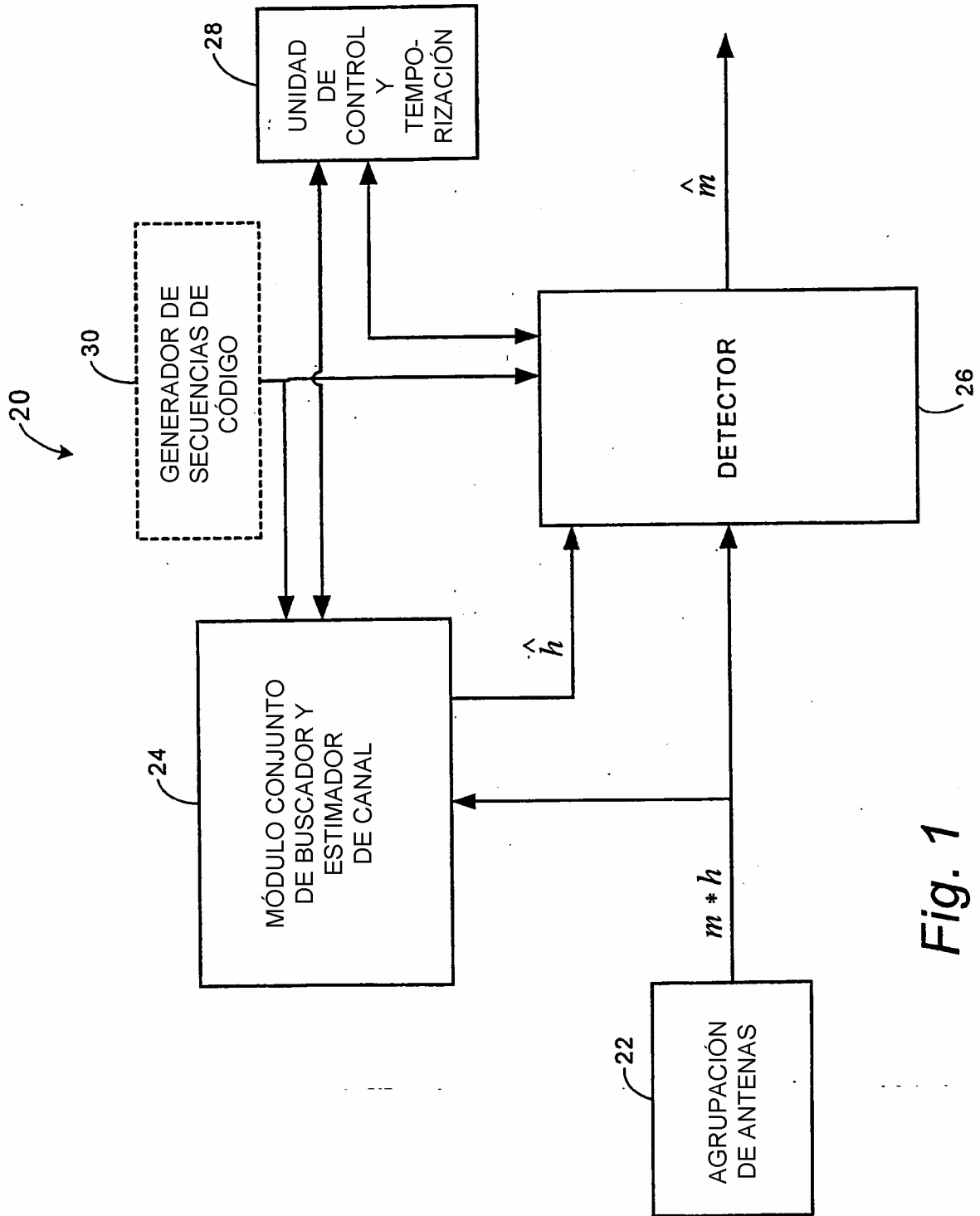
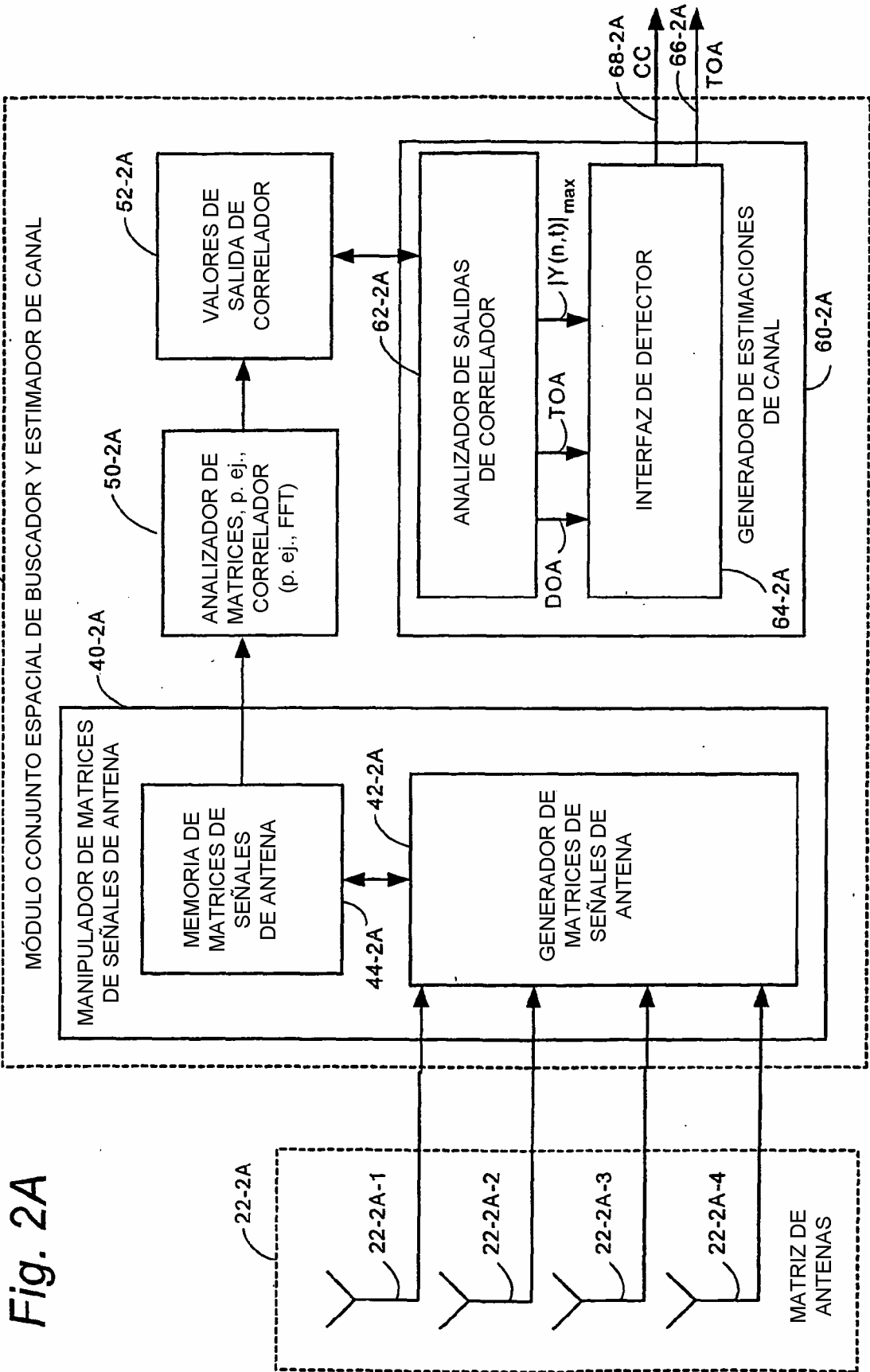
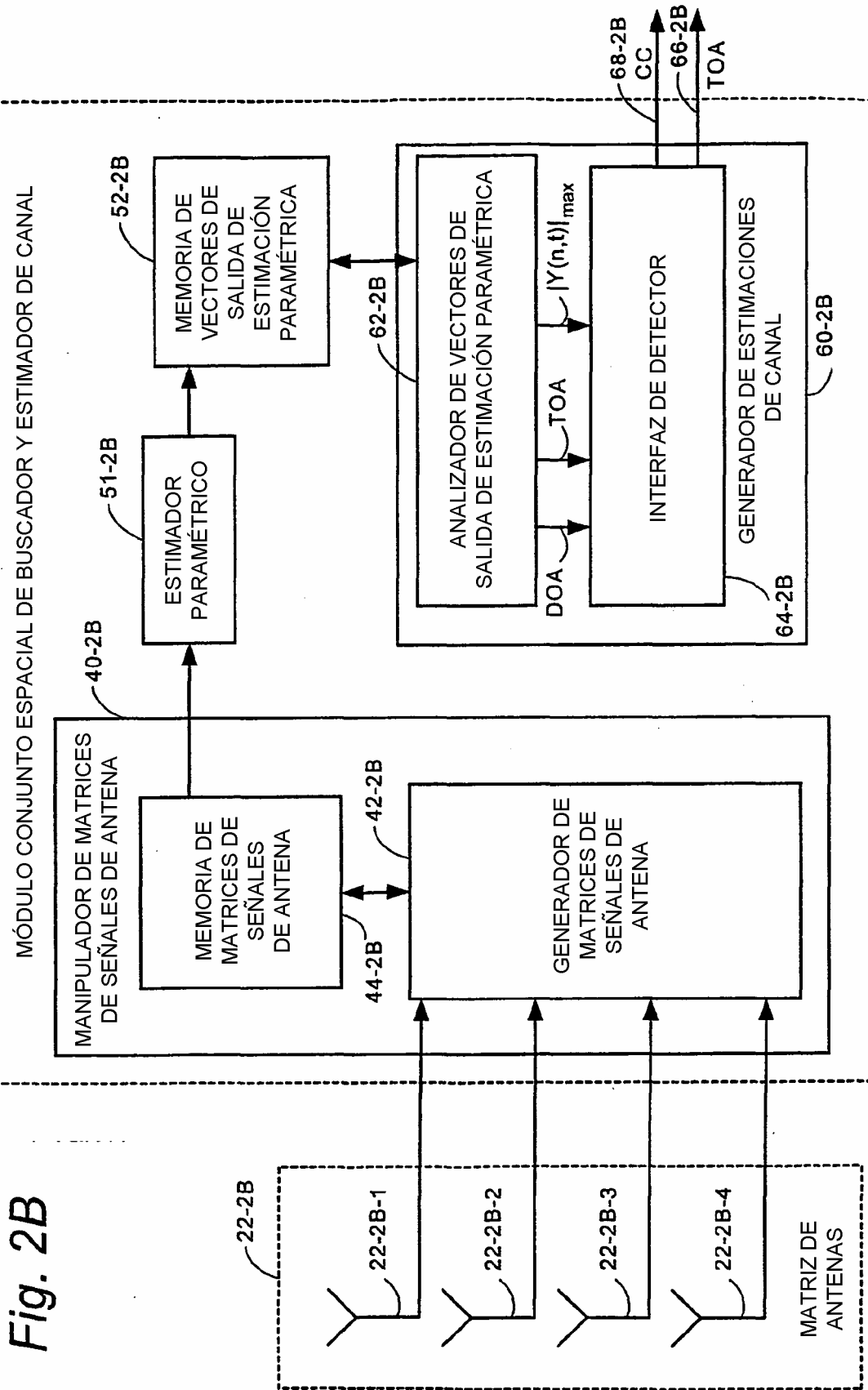


Fig. 1





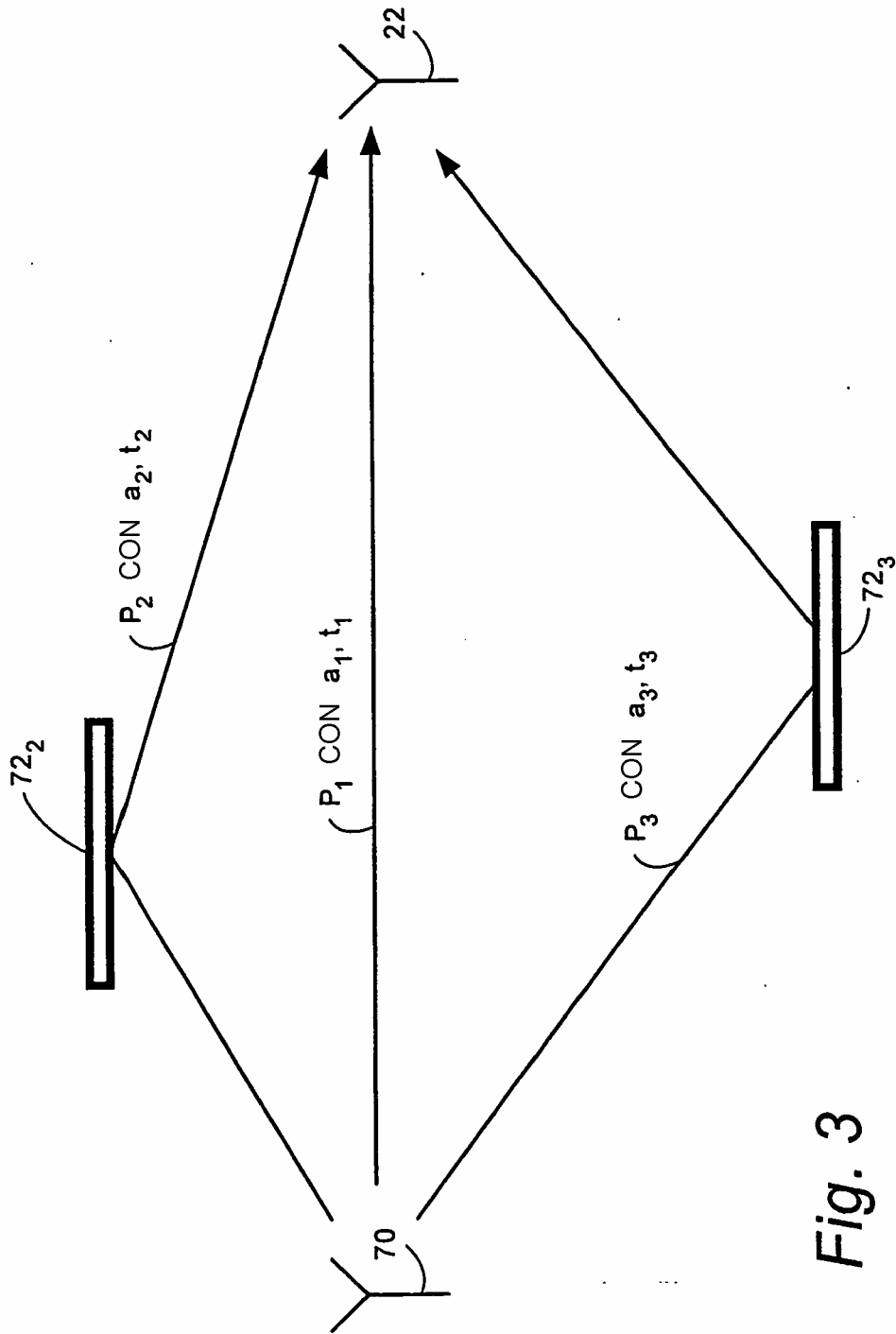
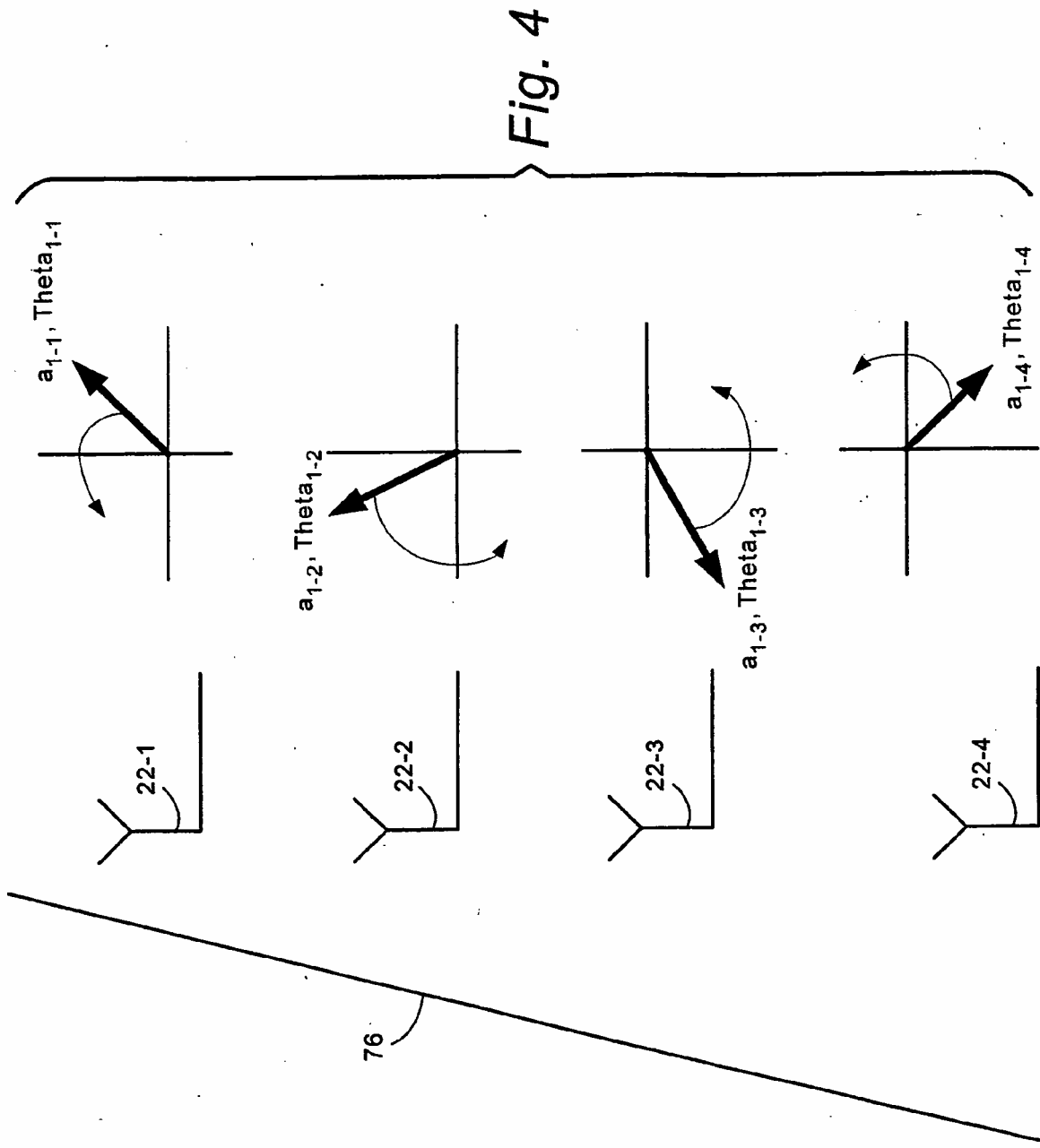


Fig. 3



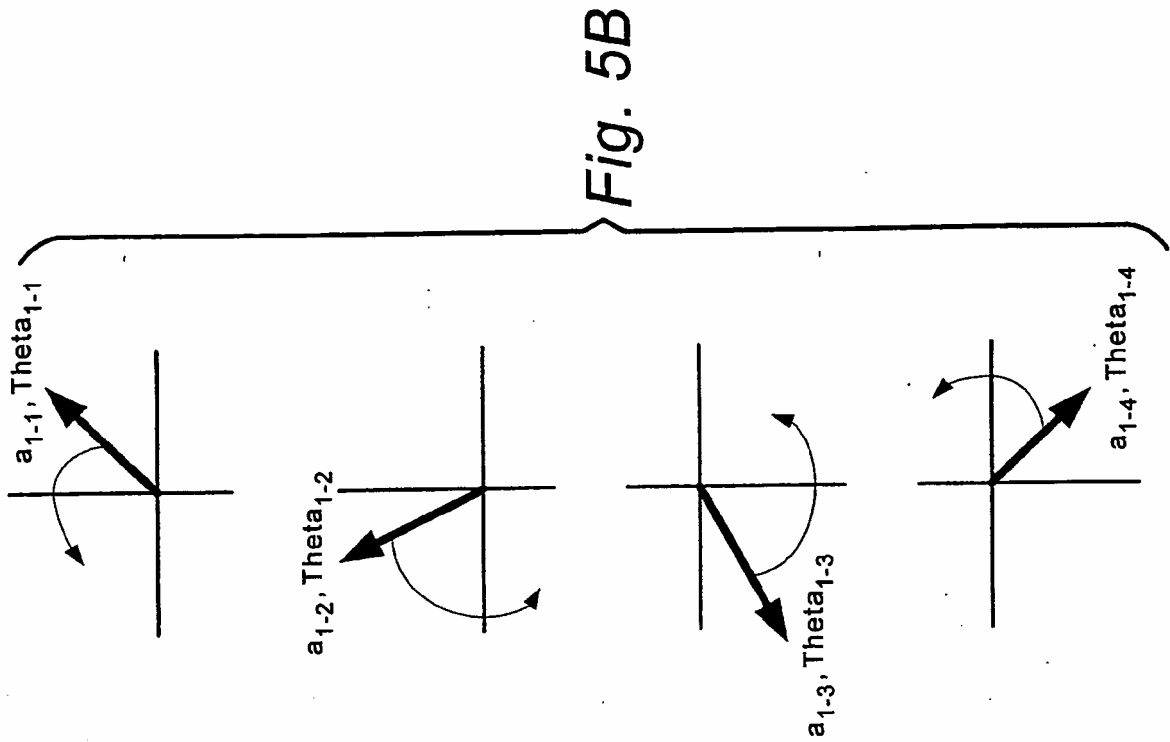
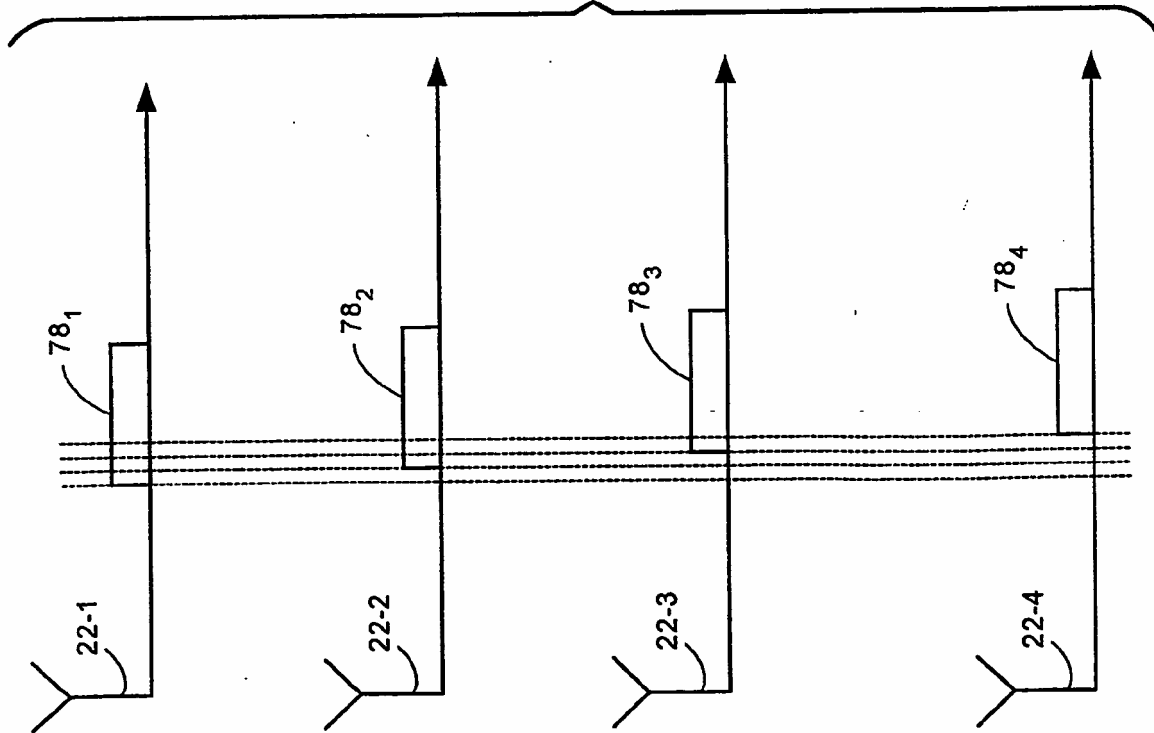


Fig. 5A



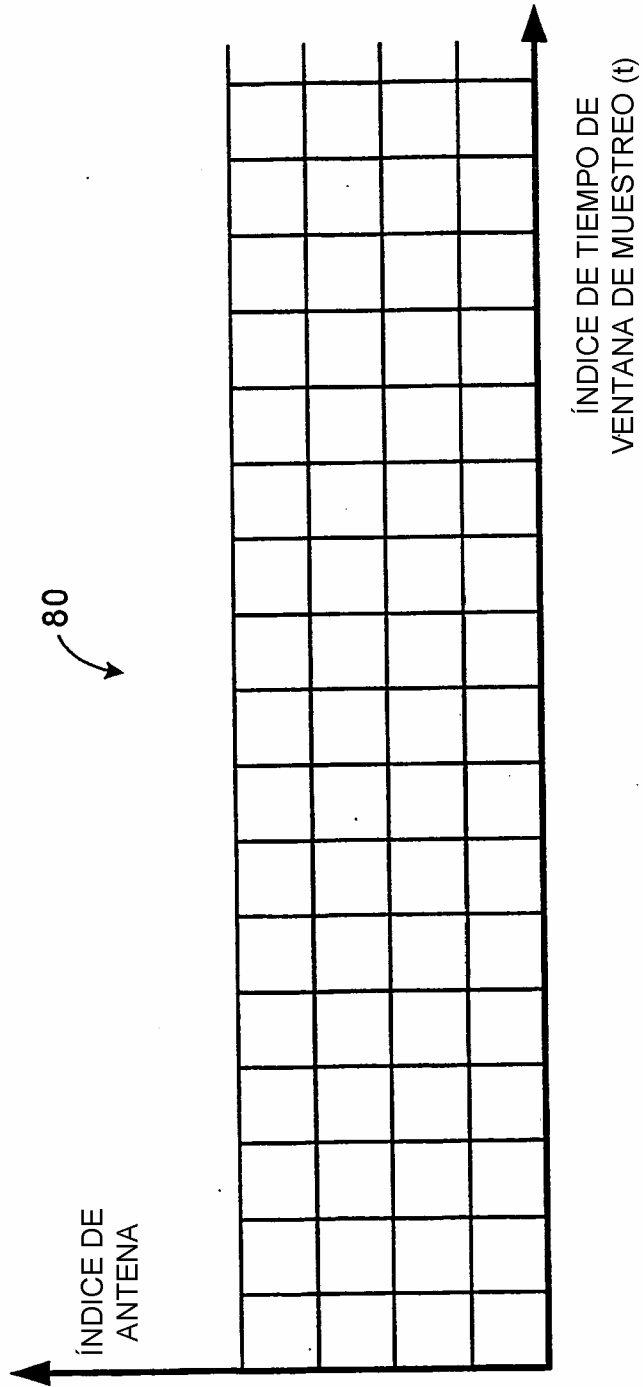


Fig. 6

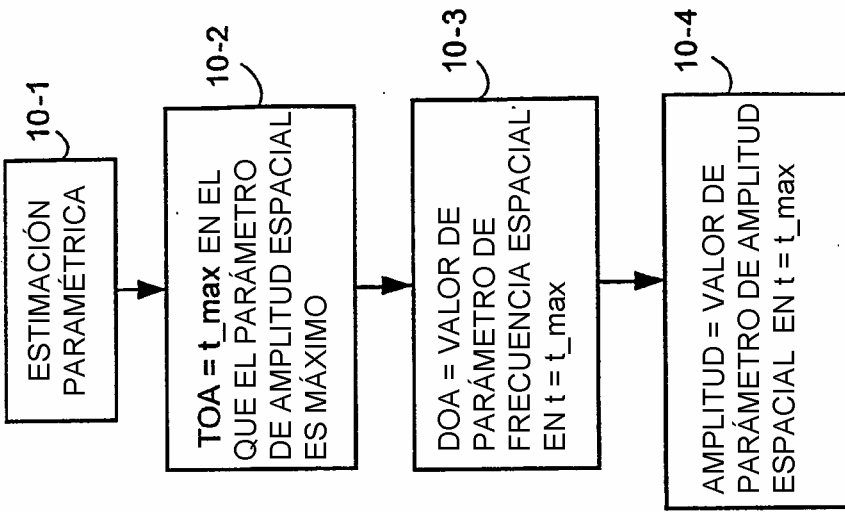


Fig. 10

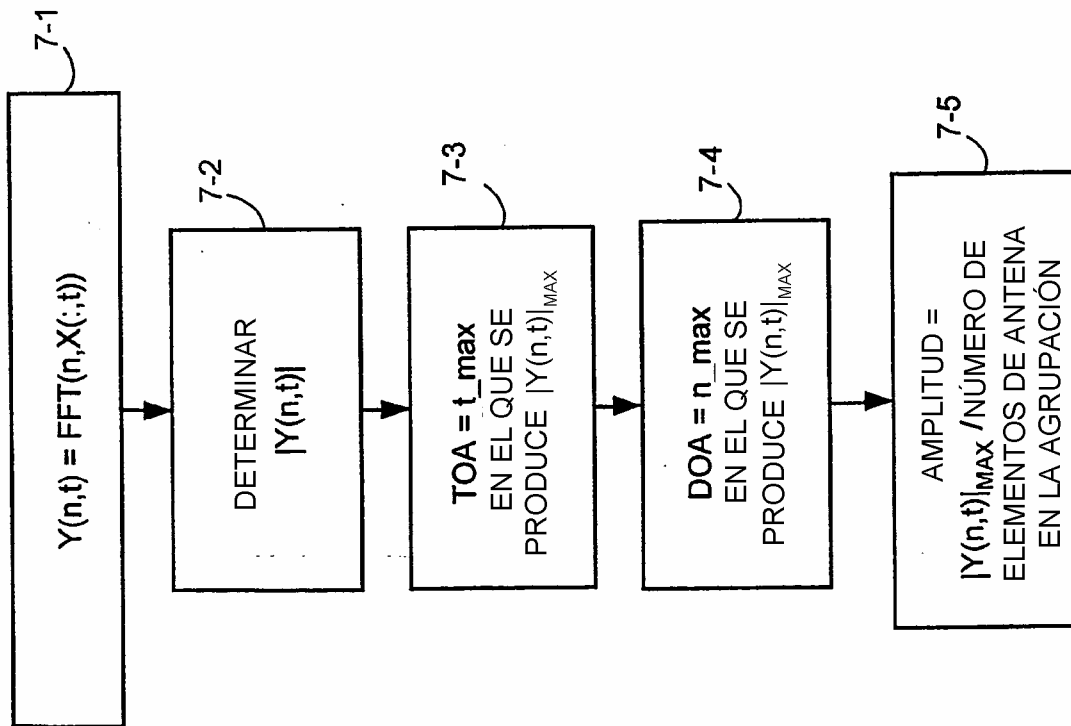


Fig. 7

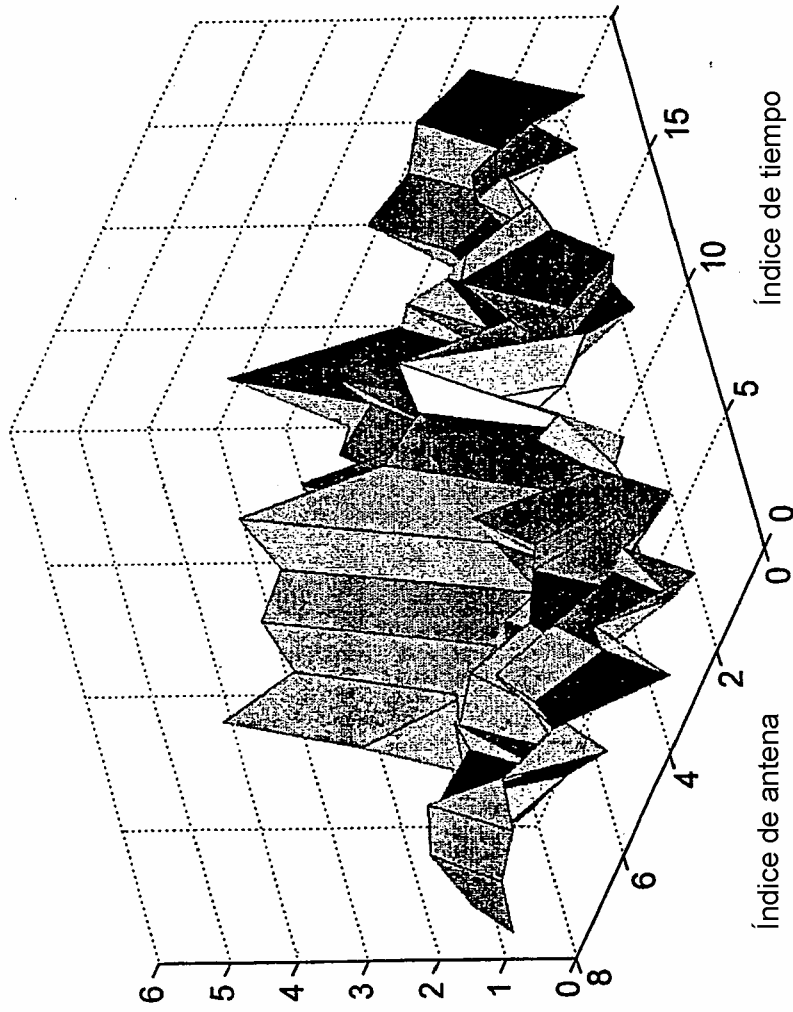


Fig. 8A

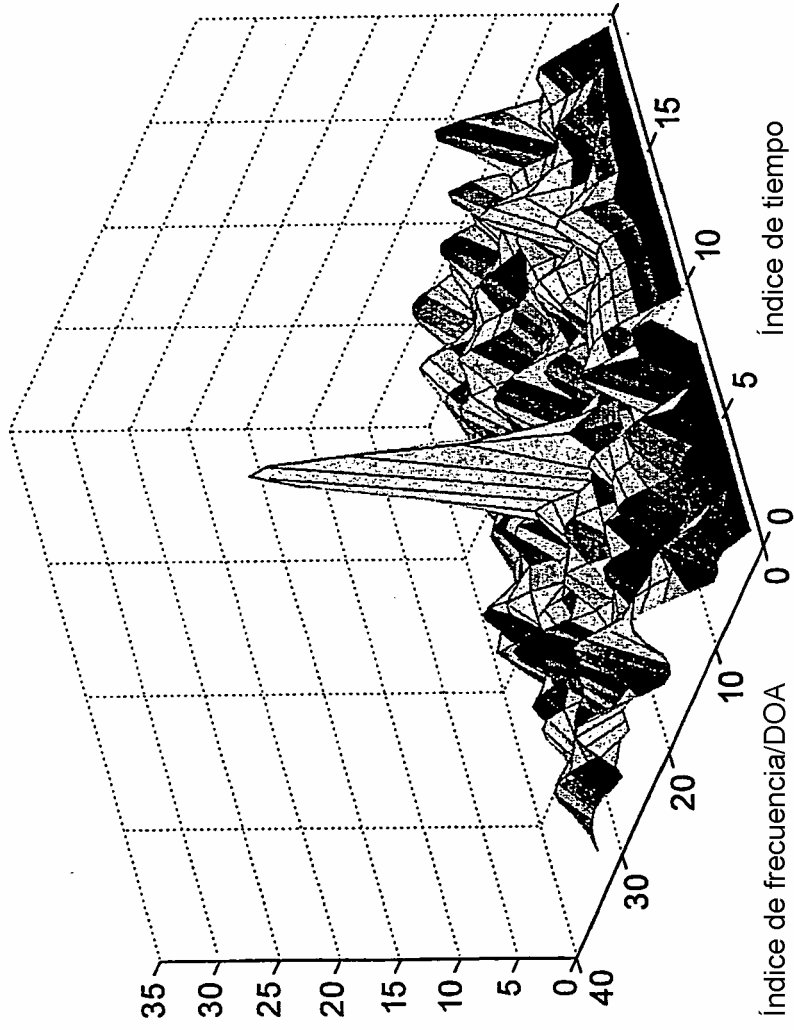


Fig. 8B

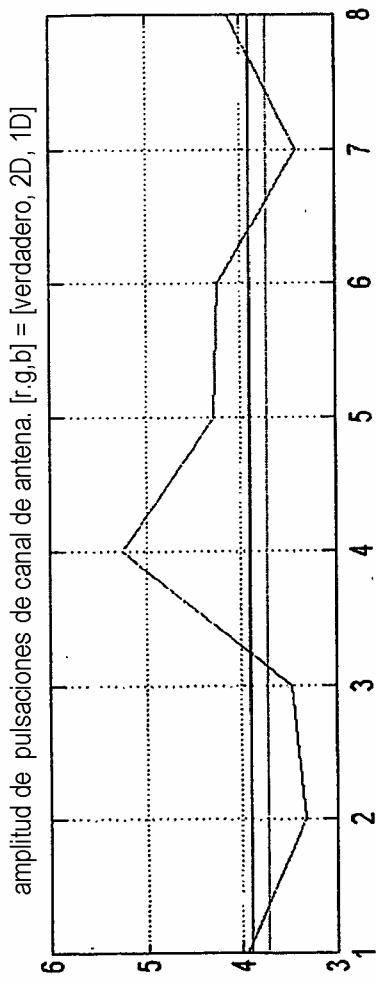


Fig. 8C(1)

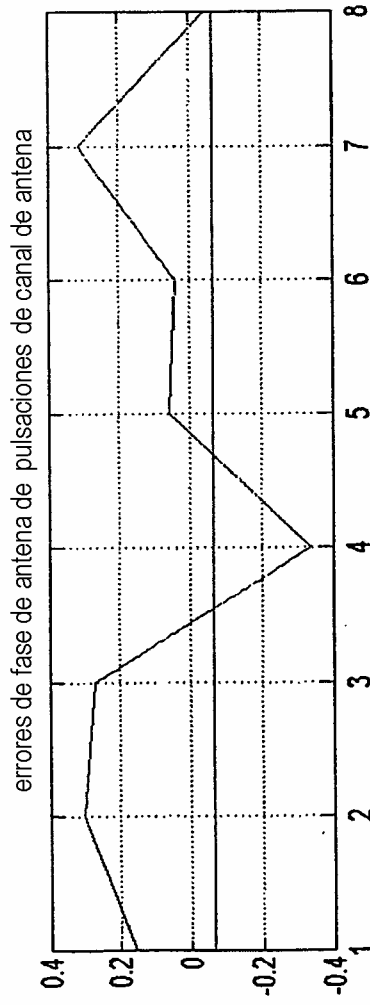


Fig. 8C(2)

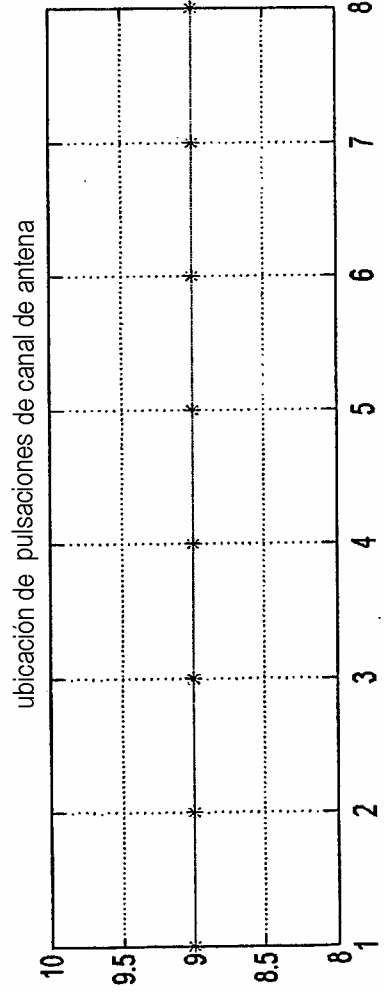


Fig. 8C(3)

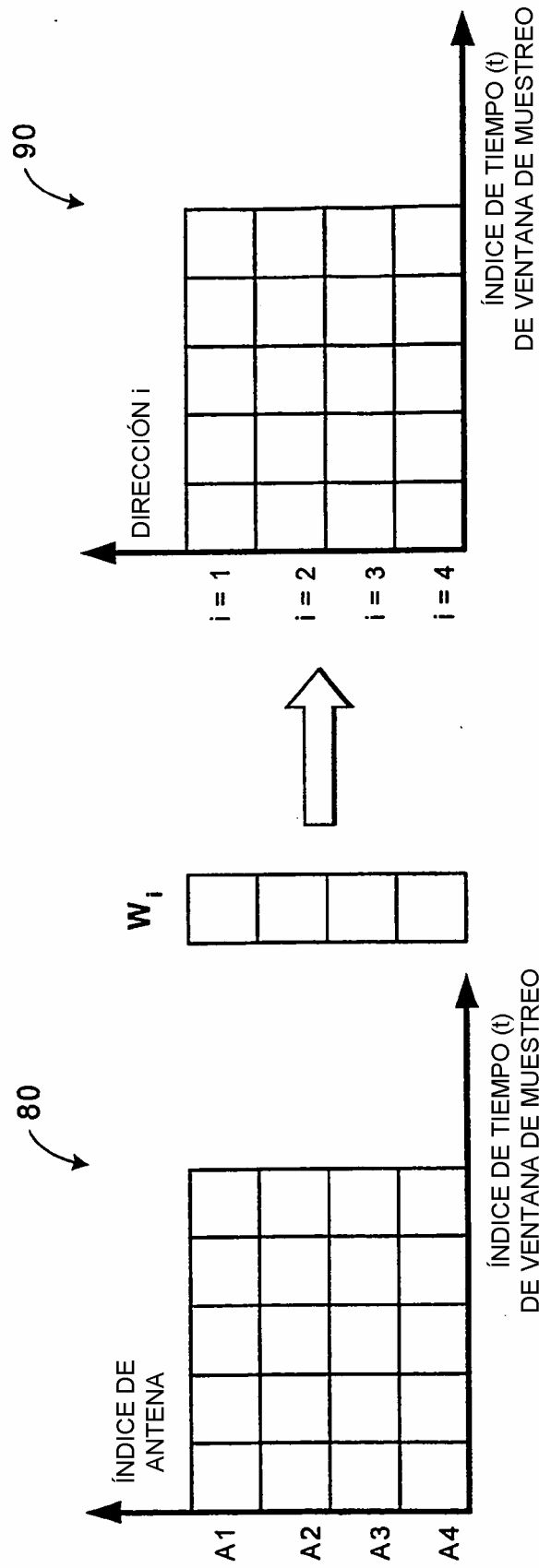


Fig. 9A

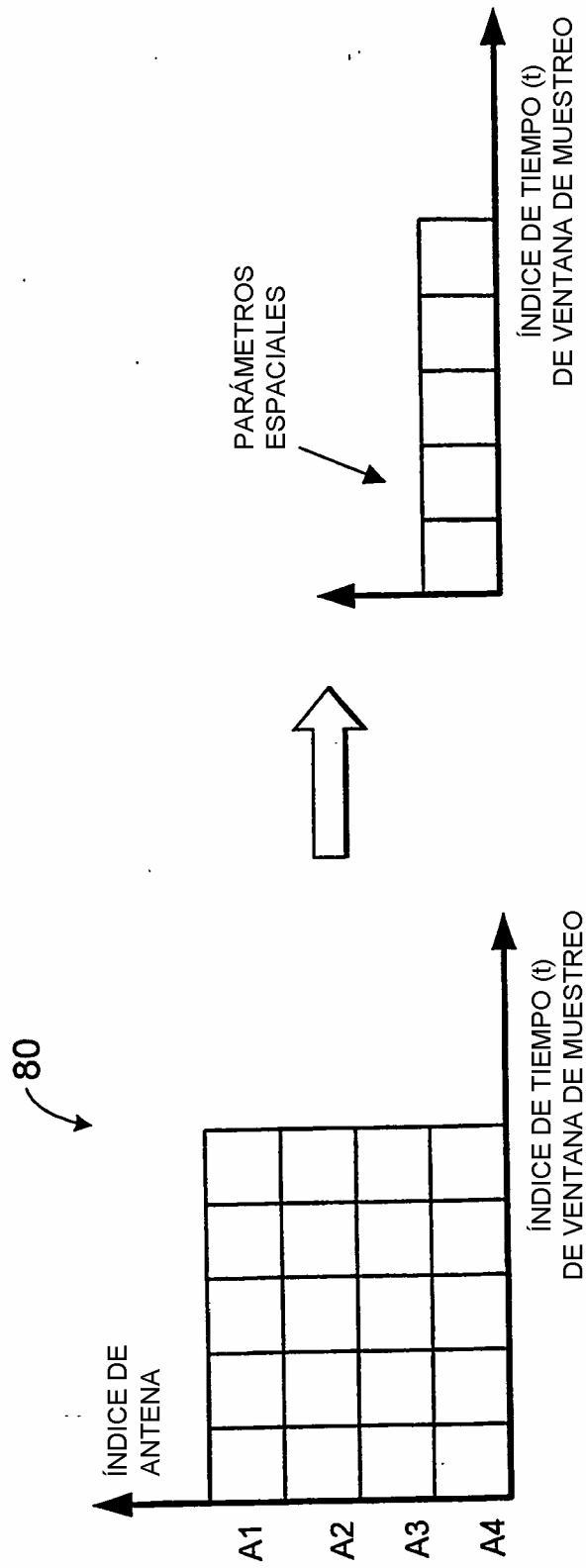


Fig. 9B

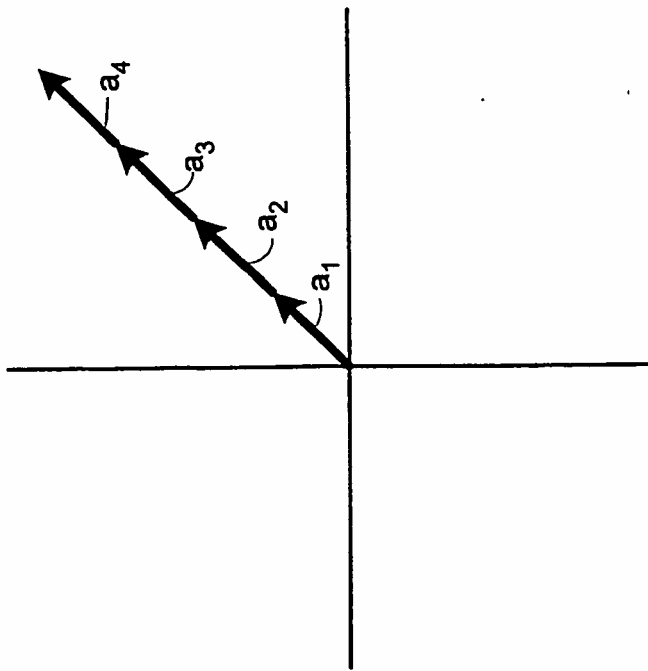


Fig. 11

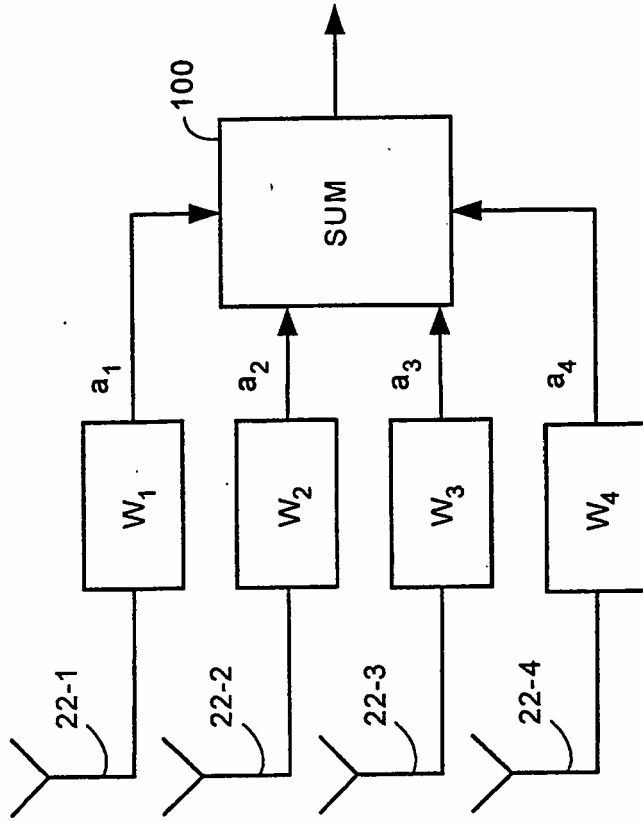


Fig. 12

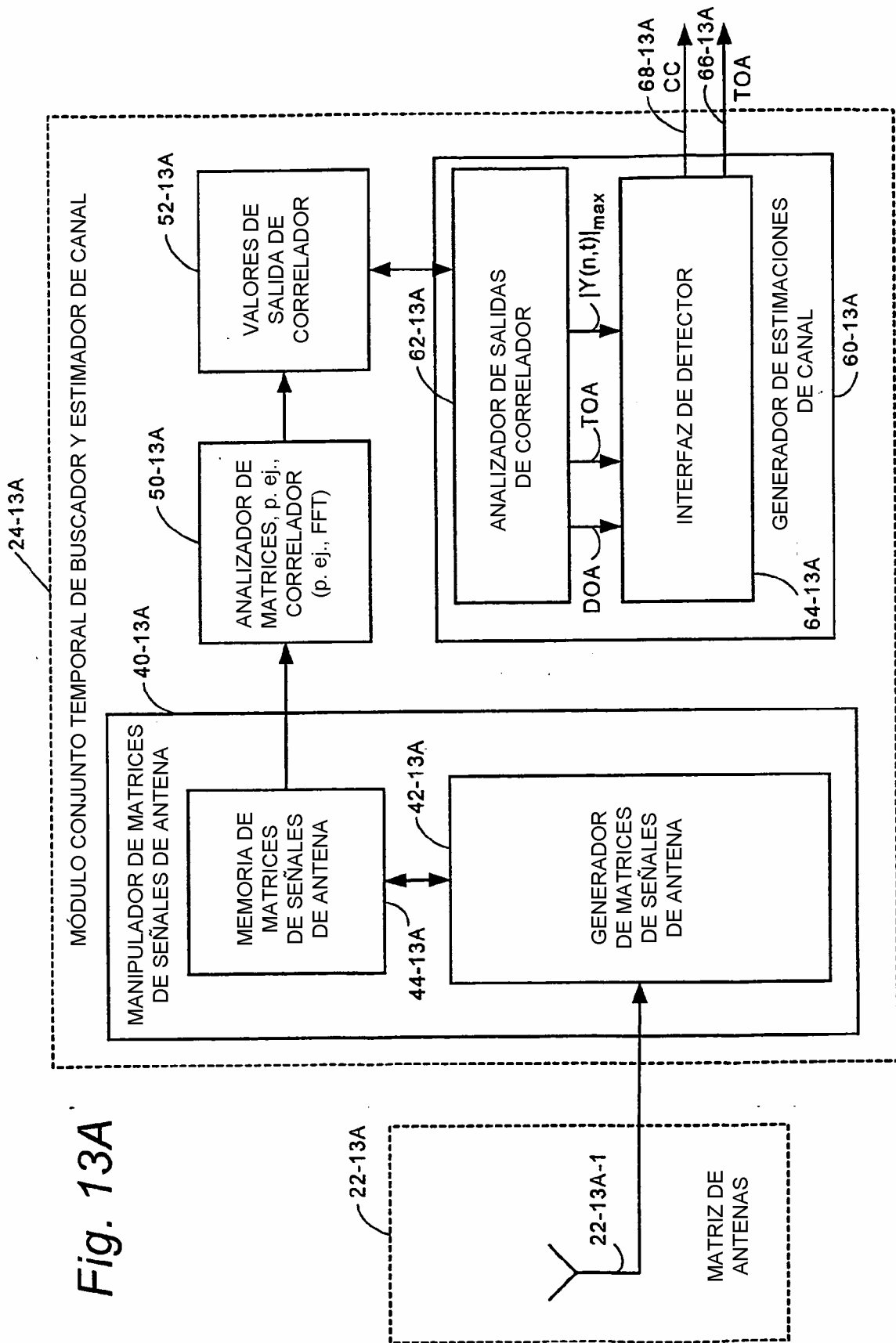


Fig. 13A

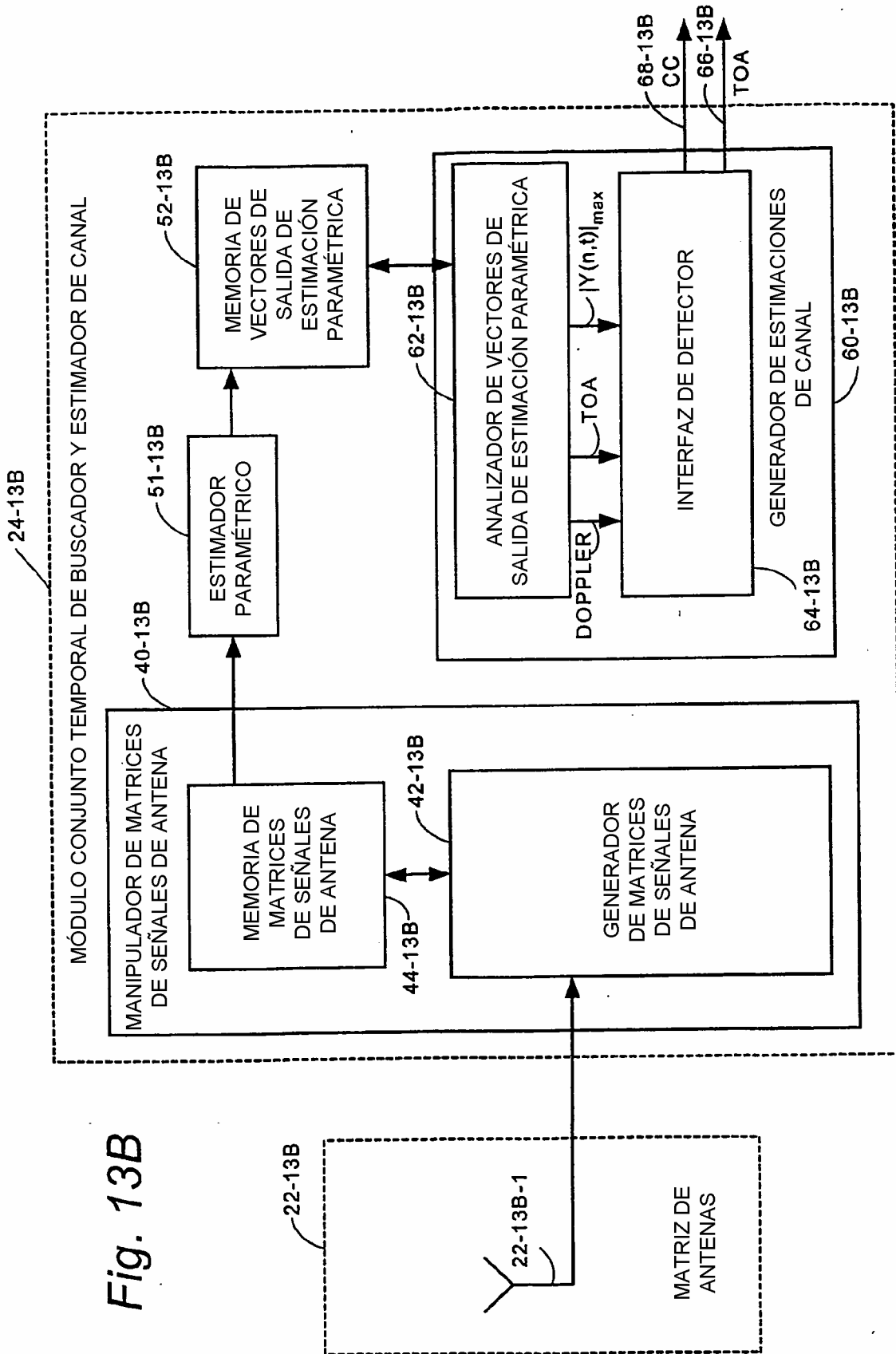


Fig. 13B

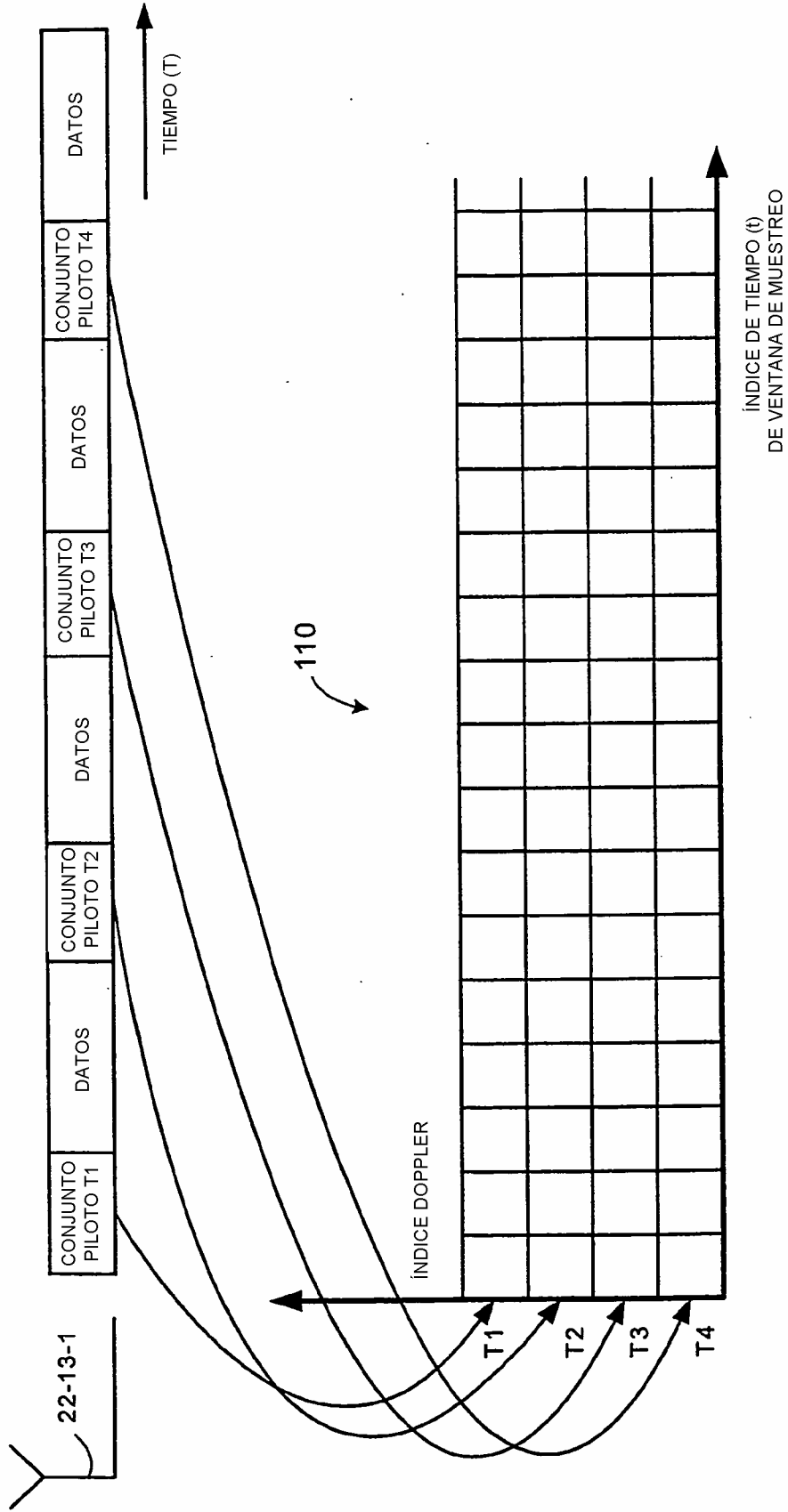


Fig. 14

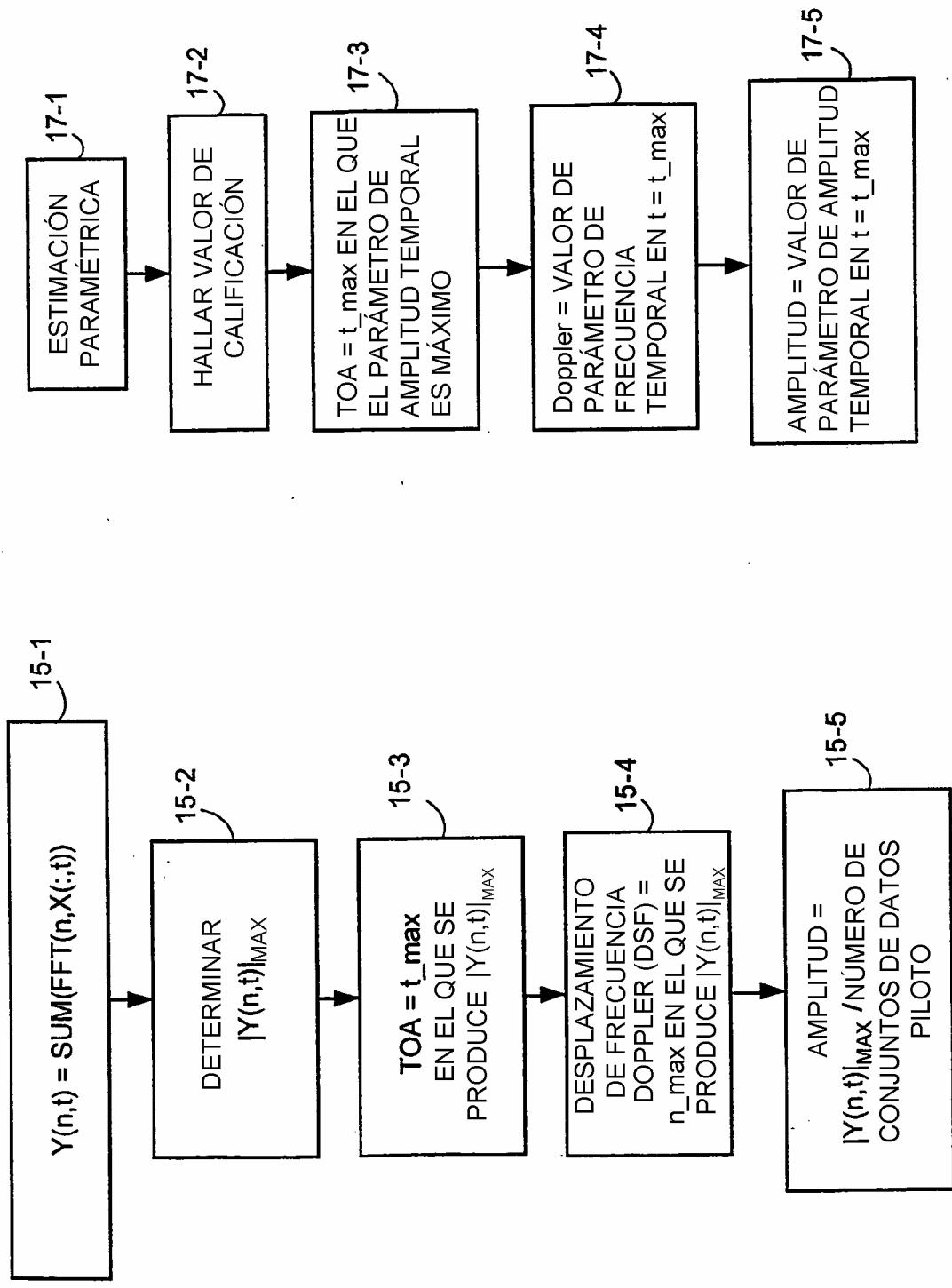


Fig. 17

Fig. 15

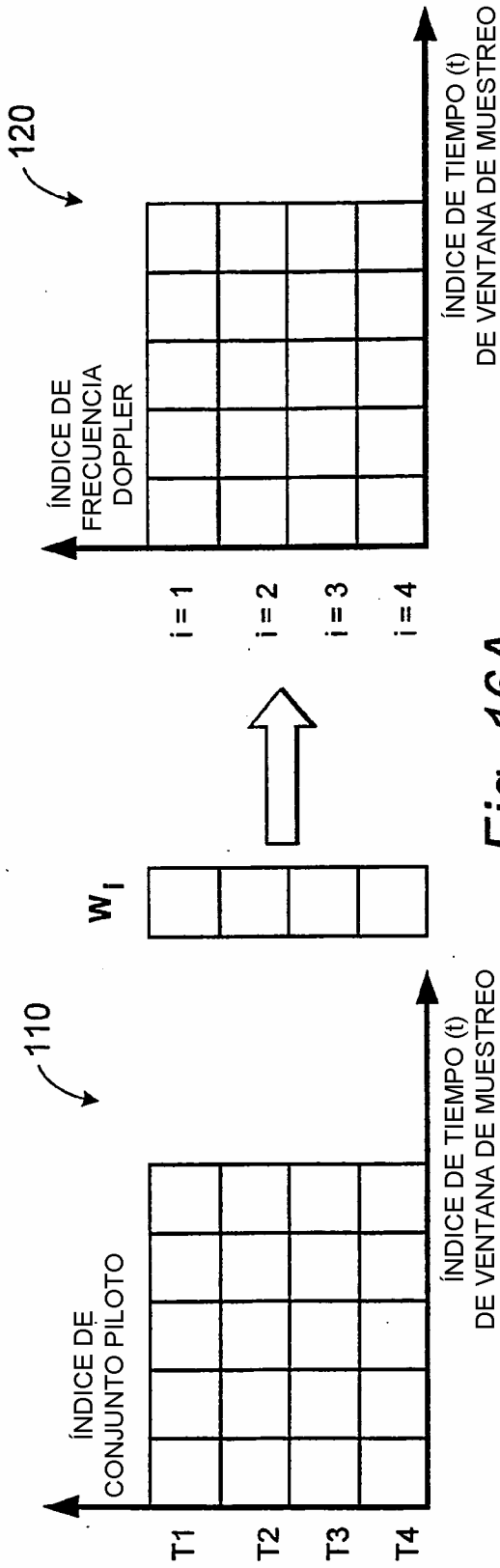


Fig. 16A

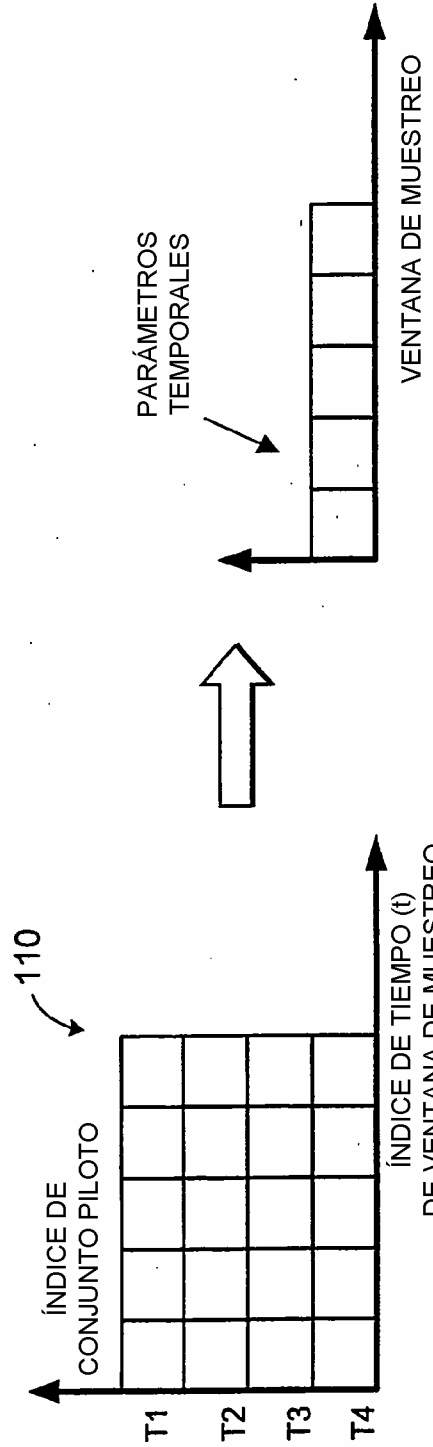


Fig. 16B

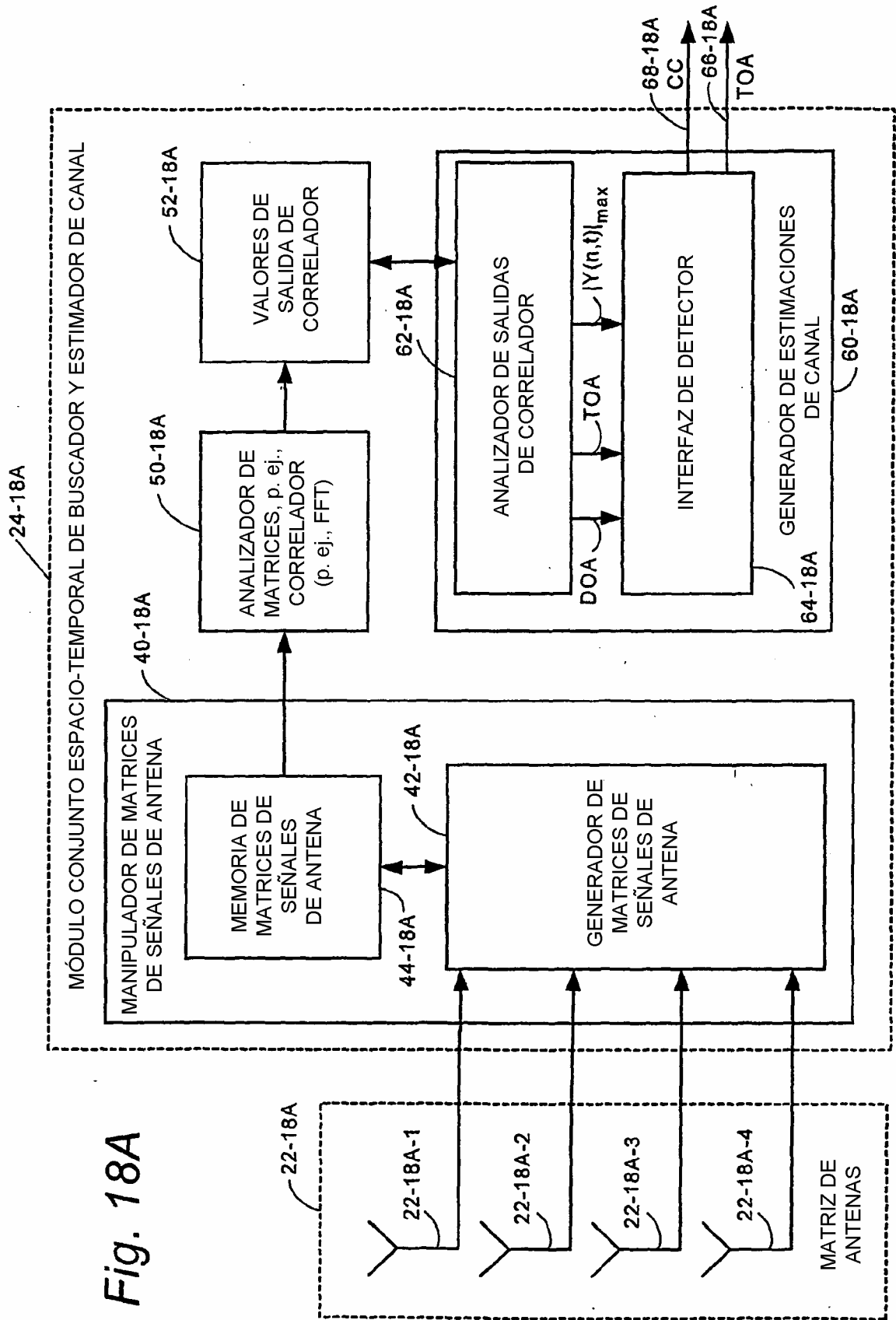
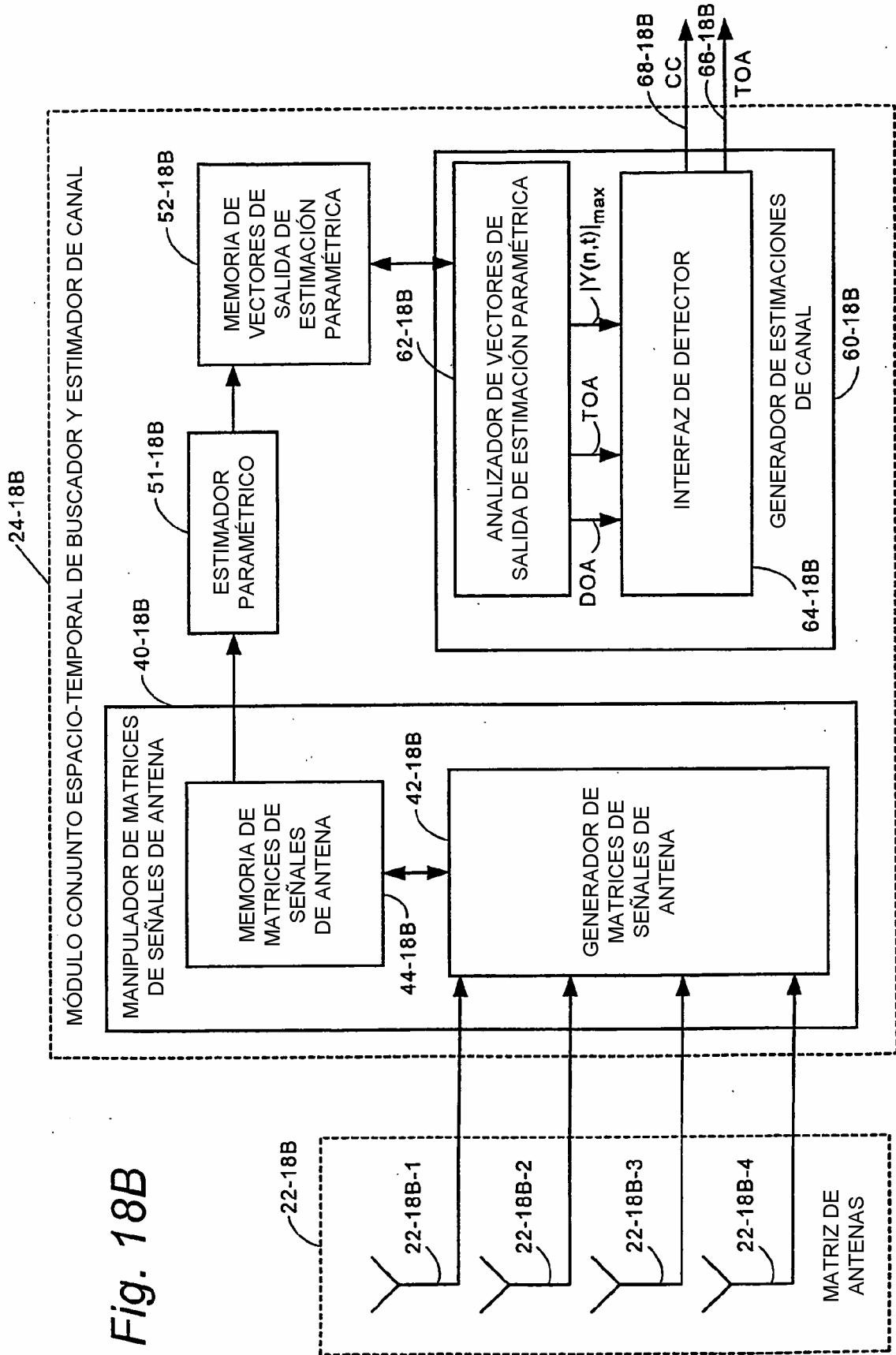
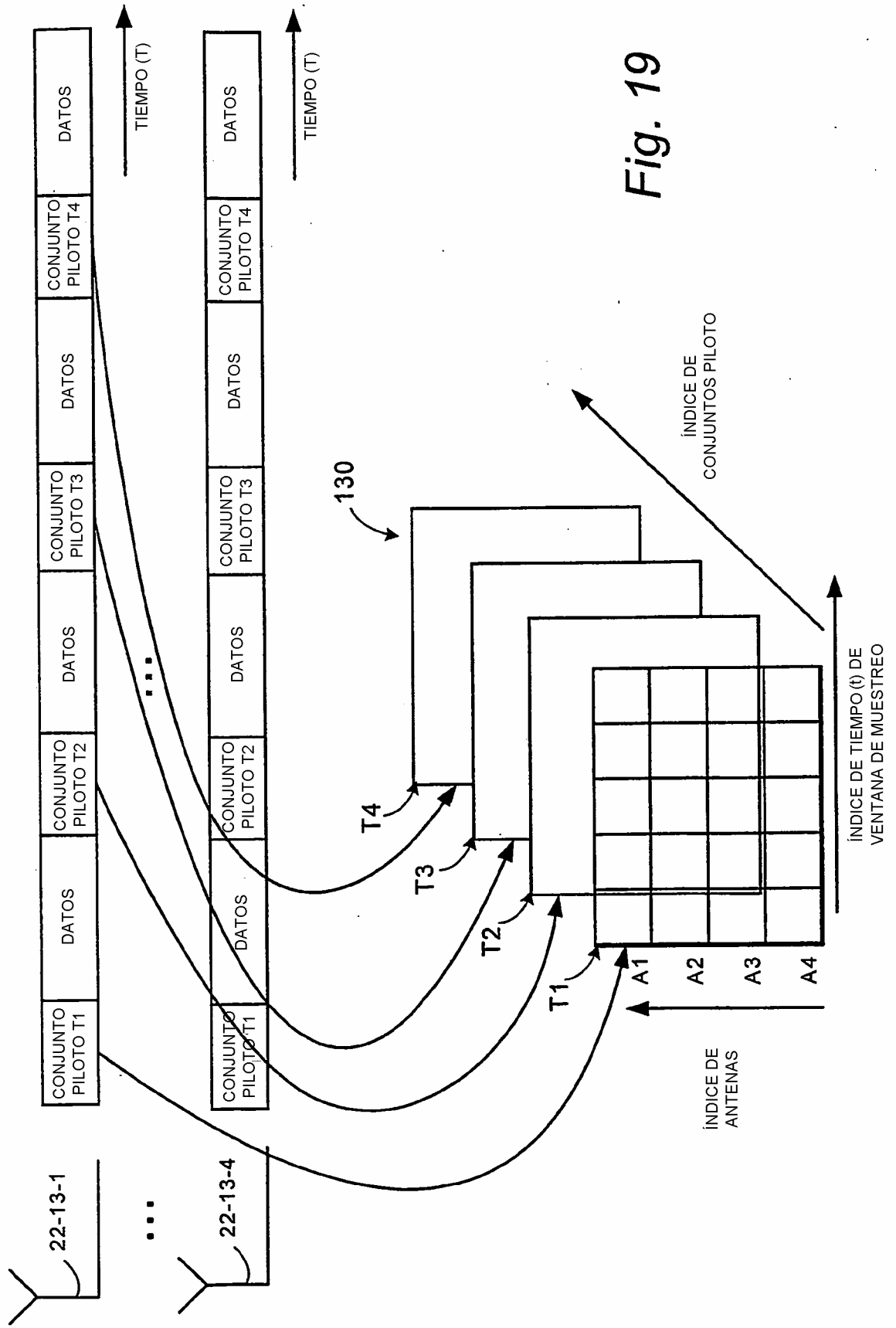


Fig. 18A





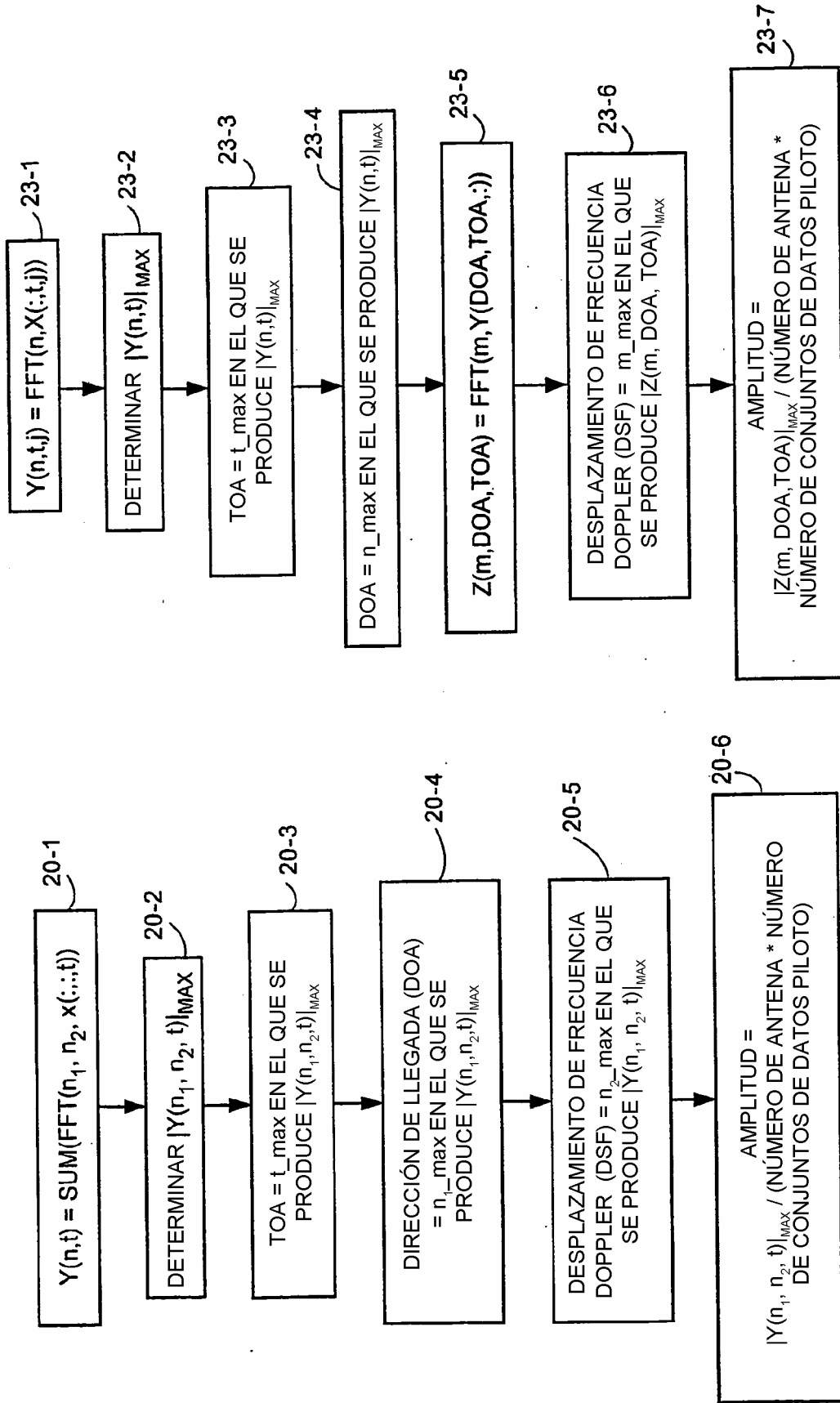


Fig. 23

Fig. 20

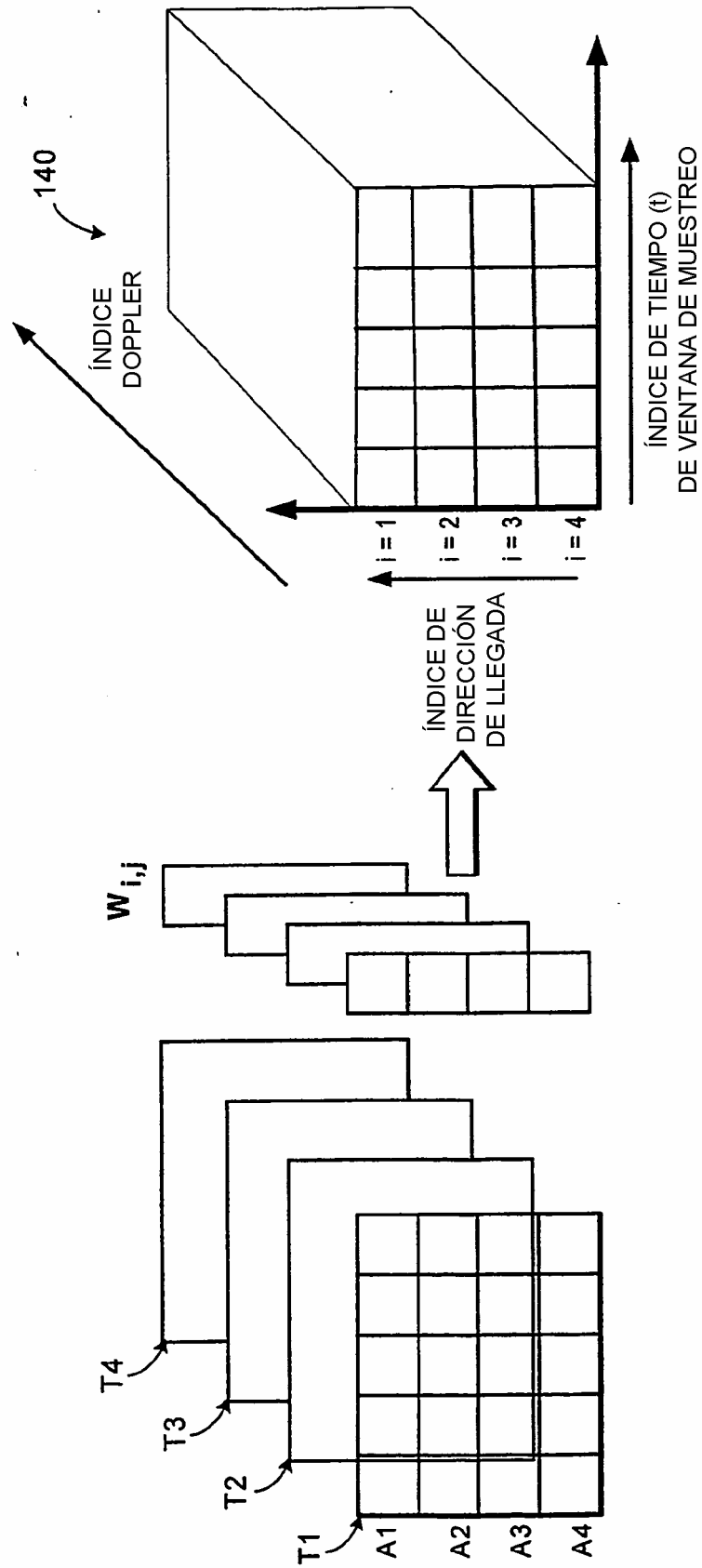


Fig. 21

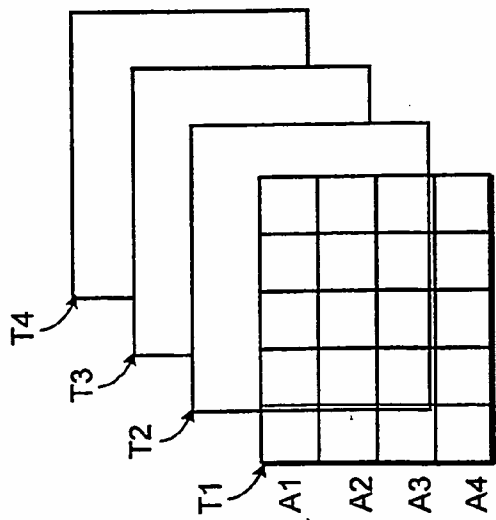
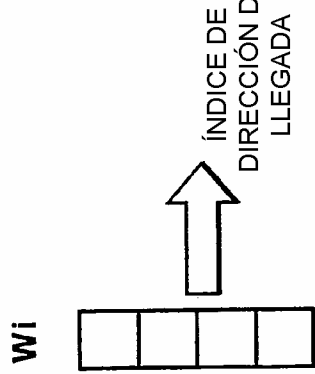
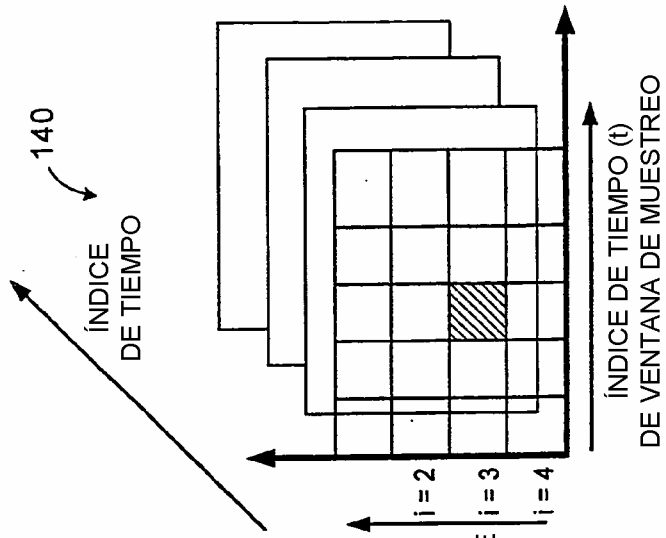


Fig. 22A

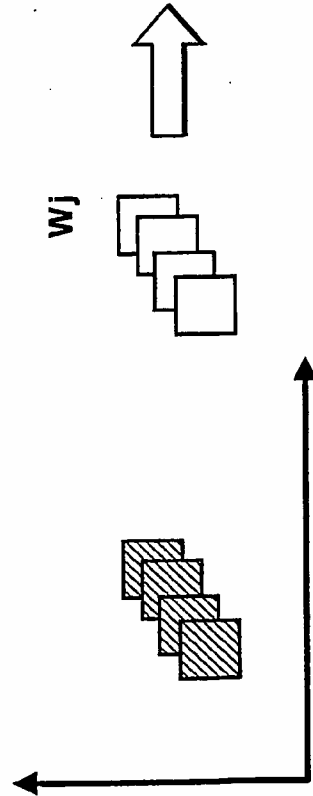
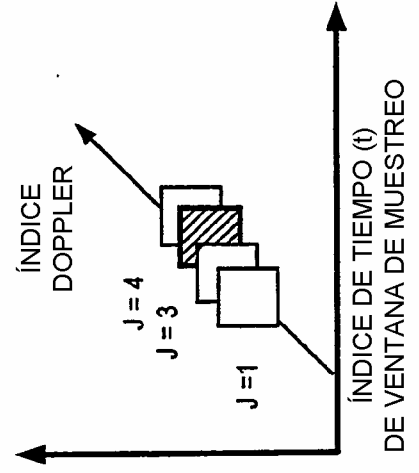


Fig. 22B

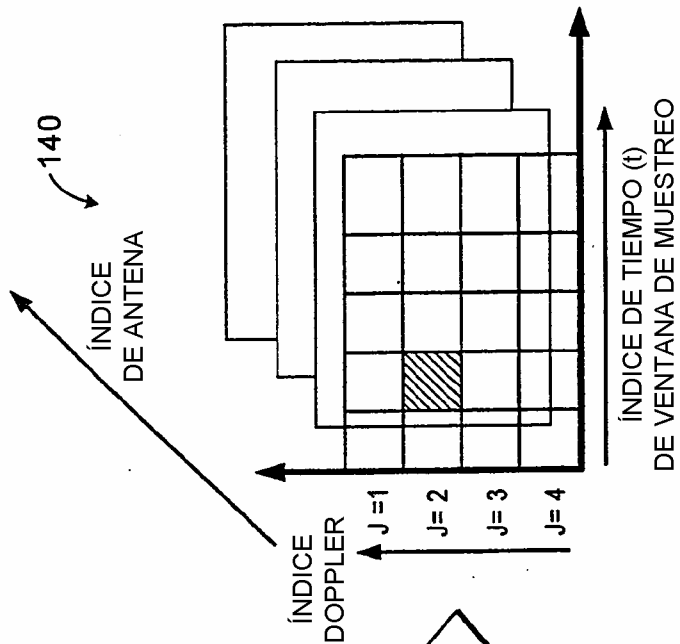


Fig. 24A

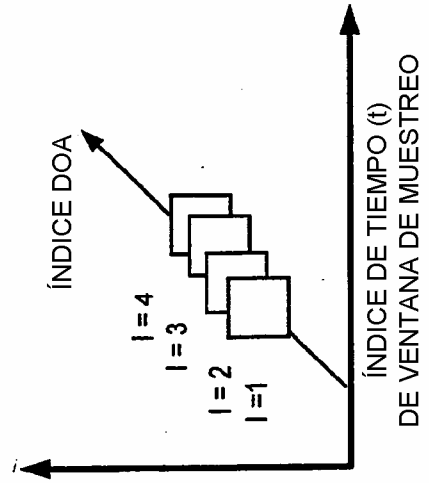
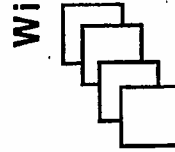
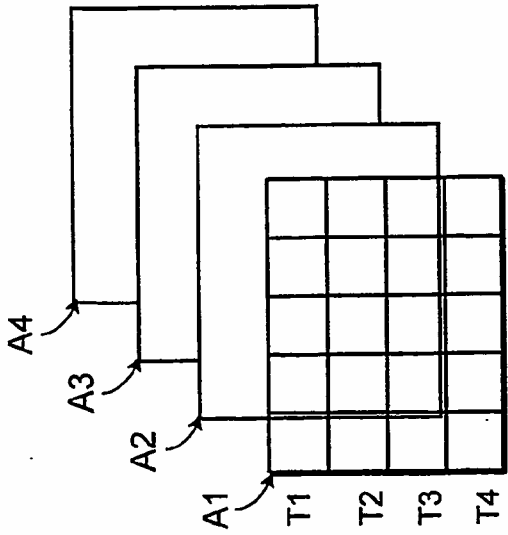


Fig. 24B

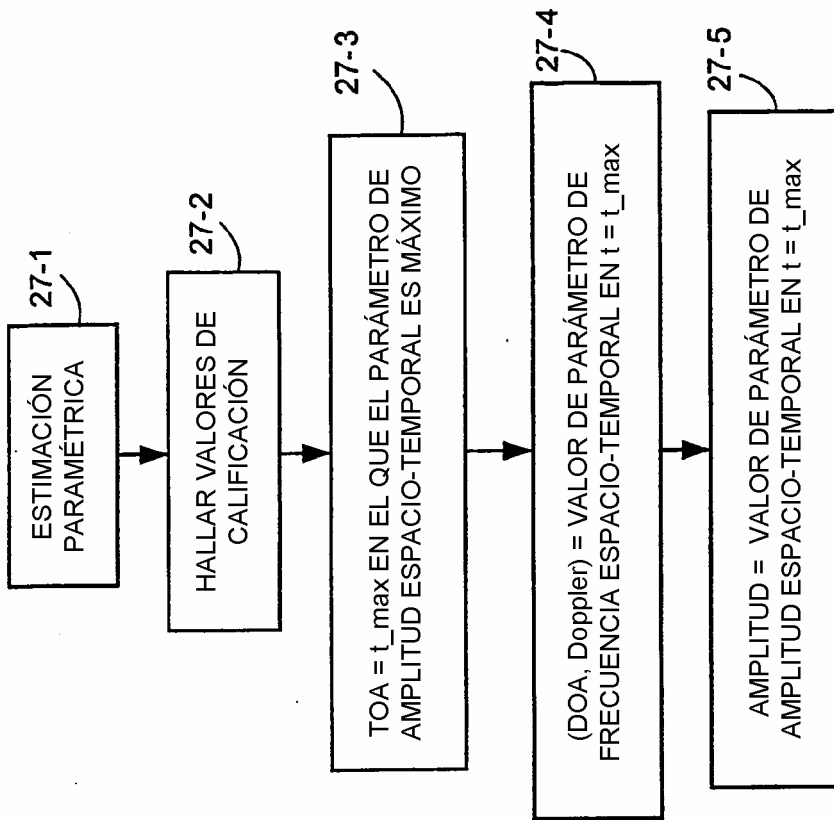


Fig. 27

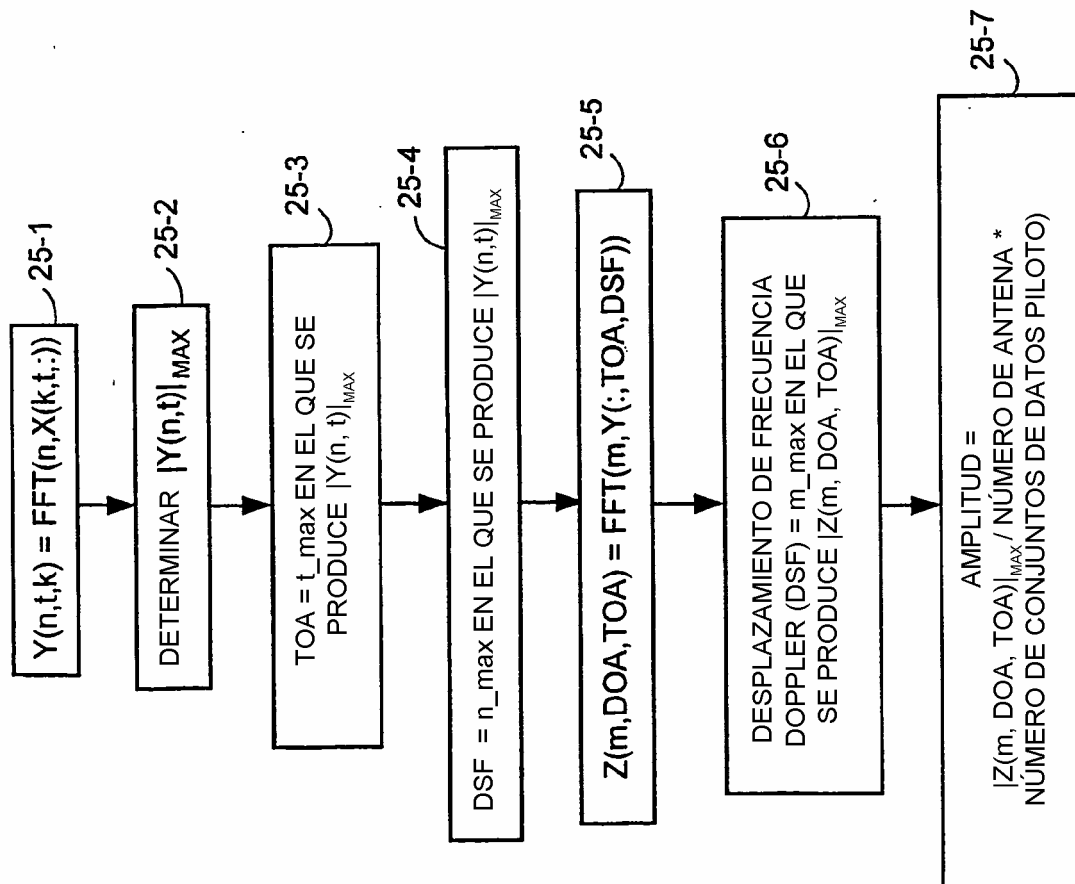


Fig. 25

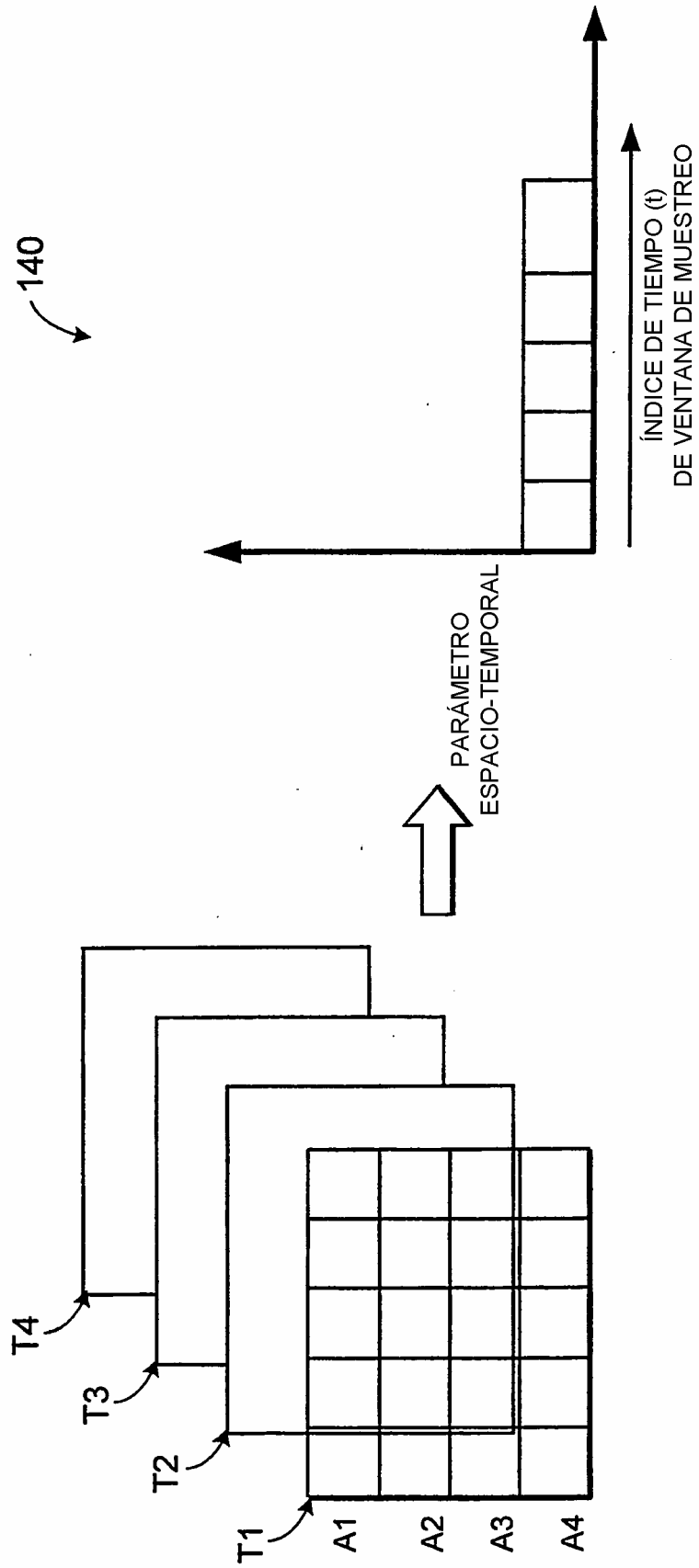


Fig. 26

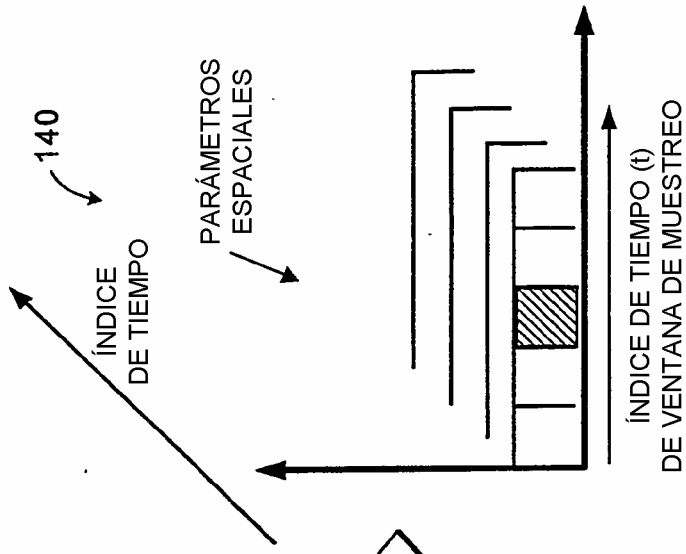


Fig. 28A

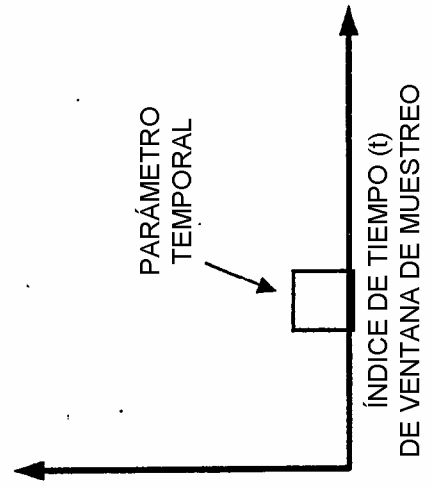
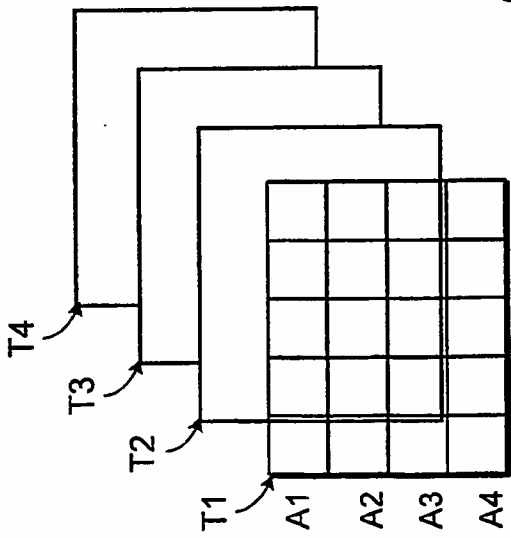
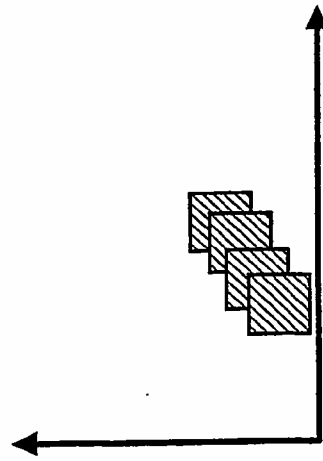


Fig. 28B



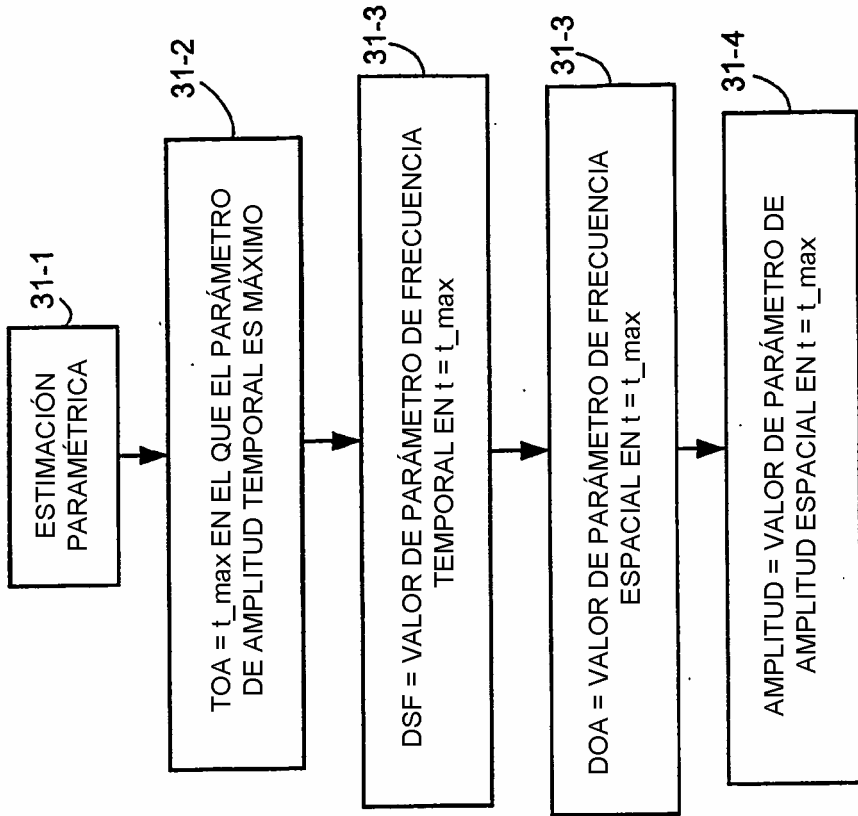


Fig. 31

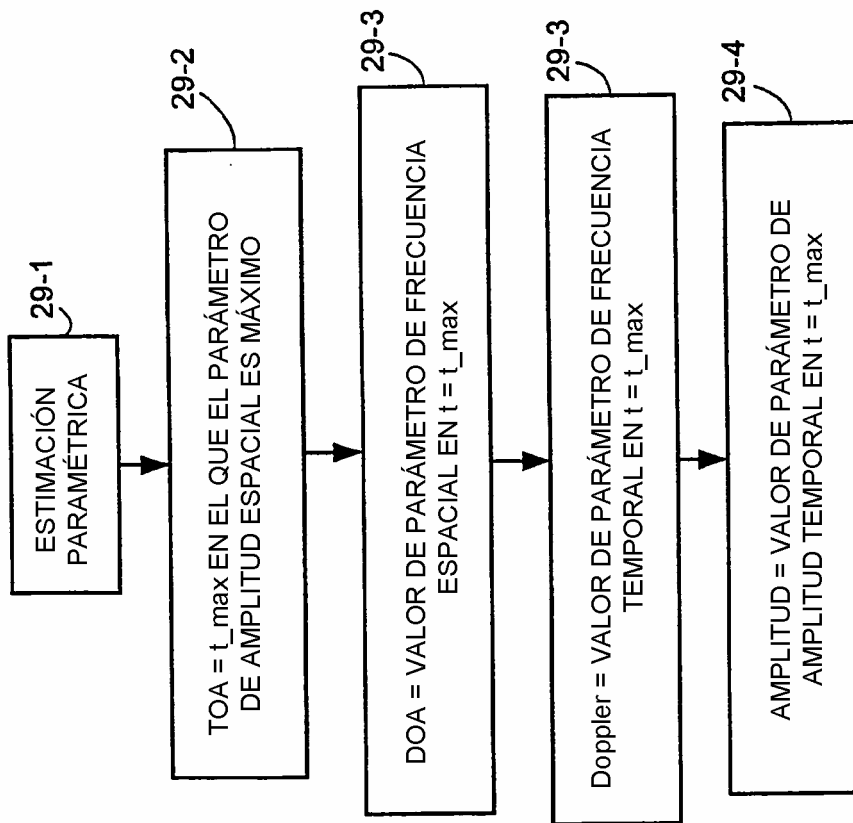


Fig. 29

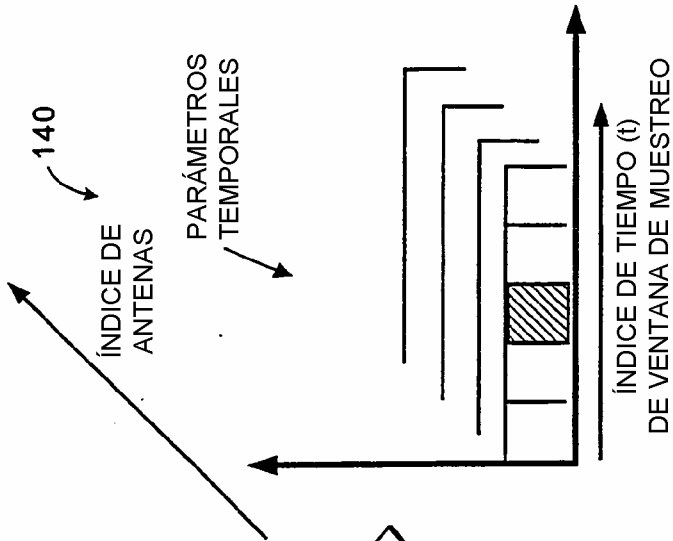


Fig. 30A

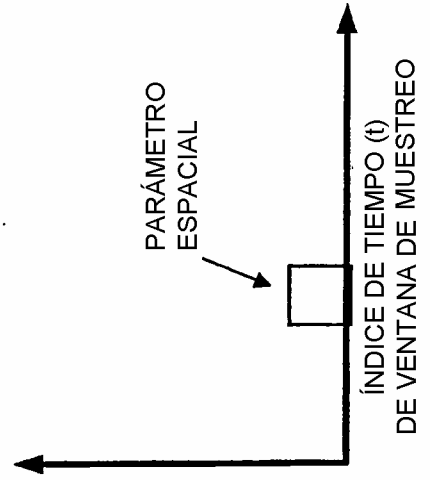
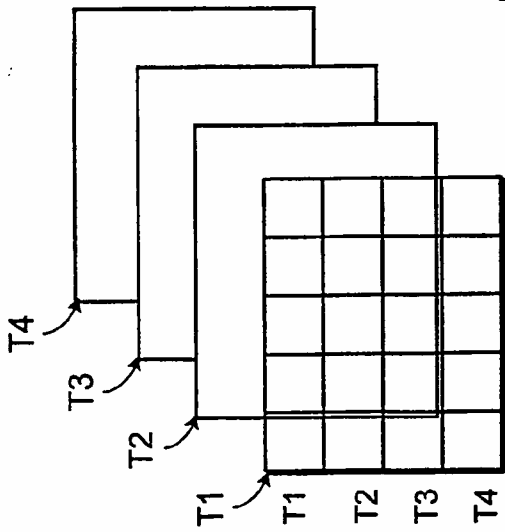
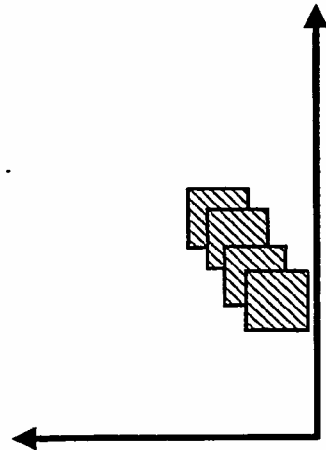


Fig. 30B



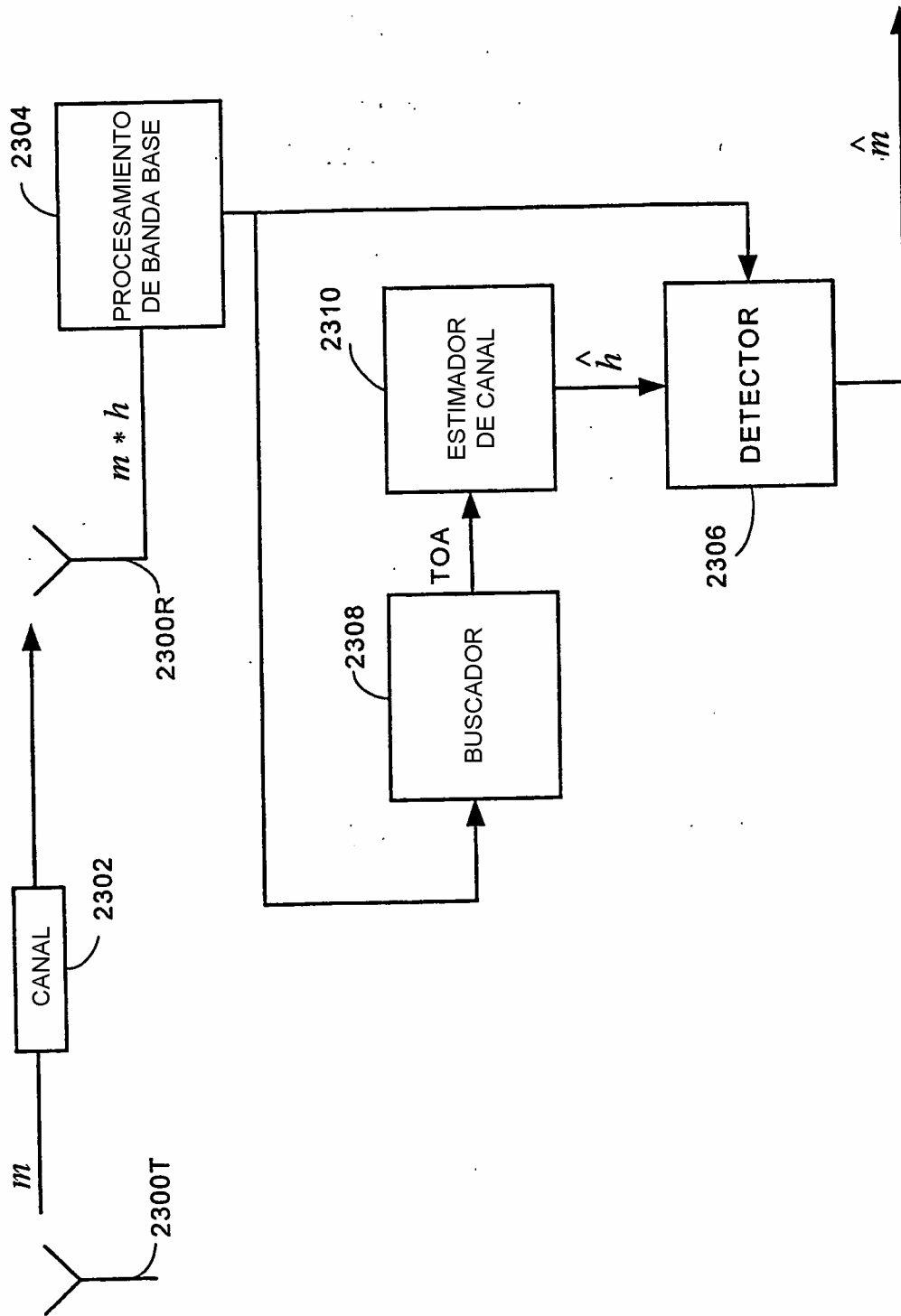


Fig. 32