



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 806**

51 Int. Cl.:
H04B 7/185 (2006.01)
H04B 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07848723 .8**
96 Fecha de presentación : **17.12.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2095539**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.09.2009**

54 Título: **Sistema y procedimiento de conformación de haz.**

30 Prioridad: **20.12.2006 GB 0625363**
20.12.2006 EP 06270108

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.04.2011

73 Titular/es: **ASTRIUM LIMITED**
Gunnels Wood Road
Stevenage, Hertfordshire SG1 2AS, GB

72 Inventor/es: **Bishop, Andrew Mark**

74 Agente: **González Palmero, Fe**

ES 2 356 806 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

Sistema y procedimiento de conformación de haz.

La invención se refiere a técnicas de conformación de haz, y en particular, a técnicas de conformación de haz para el uso en sistemas de comunicaciones por satélite. Diversos sistemas de comunicación, como teléfonos móviles, TV por cable, Internet y comunicaciones militares etc., hacen uso de satélites que orbitan la Tierra para transferir señales. Una señal de comunicaciones de enlace ascendente por satélite es transmitida al satélite desde una o más estaciones terrestres, y es después retransmitida por el satélite a otro satélite o a la Tierra como una señal de comunicaciones de enlace descendente para cubrir un área de recepción deseable dependiendo del uso particular. Las señales de enlace ascendente y de enlace descendente son transmitidas habitualmente a diferentes frecuencias.

Los sistemas de comunicación por satélite pueden incorporar antenas en array multihaz que usen técnicas de conformación de haz. Tales antenas en array son muy útiles en la conformación de múltiples haces simultáneos que cubren un amplio campo de visión. La conformación de haz de recepción es un proceso por el que las señales recibidas de varios elementos de antena diferentes se combinan de un modo que acentúa las señales deseadas y atenúa, o reduce, las señales no deseadas. Como se muestra en la Figura 1a, las señales de entrada de los elementos de antena 1...n (se muestran cuatro) al conformador de haz de recepción comprenden cada una un flujo de valores que se combinan aplicándose una serie de coeficientes de ponderación $w_1 \dots w_n$ lo cual da como resultado que cada salida del conformador de haz produzca una señal representativa de una combinación de vectores potencialmente diferentes de las señales de entrada. Ajustándose el conjunto de coeficientes de ponderación $w_1 \dots w_n$ aplicados a las señales de entrada, el conformador de haz puede cambiar dinámicamente la dirección y el contenido para alguno o todos los haces creados por el array de antenas. Debido a la naturaleza direccional de los haces de salida, un gran número de haces espacialmente definidos de un conjunto de elementos de antena de recepción puede volver a usar el mismo espectro de frecuencias. De ese modo, las técnicas de conformación de haz permiten un aumento sustancial del número de usuarios a los que se puede dar soporte por un área de servicio dada por un satélite dado.

De forma similar, como se ilustra en la Figura 1b, la conformación de haz de transmisión implica la aplicación de coeficientes de ponderación $w_1 \dots w_n$ a la señal de transmisión para cada elemento 1...n del array de antenas de modo que se controle la dirección y el contenido de alguno o todos los haces transmitidos por el array de antenas.

Los coeficientes de ponderación se pueden basar en cualquiera de una variedad de técnicas conocidas usadas para la conformación de haz y se pueden aplicar a señales entrantes que usen cualquier medio analógico o digital adecuado. Un sistema de conformación de haz de RF analógico ajusta las fases y/o amplitudes de las señales en la etapa de RF o frecuencia intermedia ("FI") de la cadena transmisora y/o receptora asociada con la antena, mientras que un sistema de conformación de haz digital ajusta las fases y/o amplitudes de las señales digitalmente. En los receptores de conformación de haz digital, las señales se procesan después de la conversión de analógico a digital. En los transmisores de conformación de haz digital, las señales se procesan antes de la conversión de digital a analógico. La conformación de haz digital es particularmente ventajosa debido a la facilidad con la que las señales digitales y el procesamiento se pueden replicar y a la naturaleza predecible y estable de las implementaciones digitales de la operación de ponderación de las señales de la conformación de haz.

En los sistemas de comunicación por satélite hay un esfuerzo continuo por reducir la complejidad del sistema general y por aumentar la eficiencia. Los arrays de antenas usados en tales sistemas comprenden habitualmente cientos de elementos de array individuales y puesto que las técnicas de conformación de haz convencionales implican la aplicación de diferentes funciones de ponderación a las señales enrutadas a, o recibidas de, cada elemento del array, la complejidad de los requisitos de procesamiento implicados aumenta proporcionalmente al tamaño del array.

En muchos sistemas de array, la mayoría de los haces conformados no usan todos los elementos del array de antenas debido a la naturaleza del sistema de antenas. Con una antena de reflector alimentado por un array (AFR), el array de alimentación no se dirige a la ubicación del haz objetivo sino que los haces se conforman después de que se reflejan las señales de una antena grande. El efecto del reflector grande es que se magnifica el tamaño aparente del array de alimentación para mejorar la resolución espacial del proceso de conformación de haz. En algunas configuraciones esto significará que cada uno de los elementos individuales en el array contribuye a una fracción del área de cobertura general del sistema de antenas. En tales sistemas, aunque a los elementos del array no usados se les asigna habitualmente una función de ponderación cero en el procesamiento de conformación de haz, la arquitectura del sistema se dispone para recibir y procesar entradas de cada haz de elemento individual del array. Por lo tanto, a pesar de la redundancia de muchos elementos del array, tales sistemas siguen siendo innecesariamente complejos.

Se conoce la división del array en sub-arrays predeterminados para combinar un número de elementos de antena físicos que usan procedimientos analógicos de manera que se reduzca el número de entradas al procesador digital. Esto tiene la ventaja de que se aumenta el número de elementos de antena para el mismo número de entradas al procesador digital o de que se reduce el número de entradas al procesador digital para el mismo número de elementos.

Habitualmente la conformación de haz de recepción y de transmisión se llevan a cabo por separado, usualmente operando el mismo bloque funcional a la inversa (es decir hacer todo el flujo de señal bidireccional y elegir una dirección o la otra dependiendo del modo). Se ha reconocido que sería ventajoso proporcionar un bloque

conformador de haz que sea unidireccional en sí mismo pero que pueda realizar una conformación de haz de recepción o bien de transmisión con una mínima adaptación requerida.

El documento US-2002/0154687 da a conocer un transceptor que emplea una antena de array en fase orientable. El transceptor lleva a cabo una conformación de haz digital en la banda base y el mismo procesador de banda base se usa tanto en el modo de transmisión como en el modo de recepción.

Es un objeto de la presente invención reducir la complejidad y los requisitos de procesamiento asociados con las técnicas de conformación de haz usadas en un sistema de comunicaciones por satélite.

Es un objeto adicional de la presente invención mejorar la eficiencia de las arquitecturas de conformación de haz usadas en sistemas de antenas activas donde no todos los elementos de la antena contribuyen a cada haz.

Es un objeto adicional más de la presente invención proporcionar un diseño de único DSP que funcione para la conformación de haz tanto de transmisión como de recepción.

Las formas de realización de la invención permiten que un sistema de conformación de haz idéntico se use para la conformación de haz tanto de recepción como de transmisión donde están presentes las mismas interfaces de entrada y de salida y donde existe el mismo flujo de datos. Es por tanto posible implementar un diseño de único DSP que funcione para la conformación de haz tanto de transmisión como de recepción. El número de entradas y salidas dependerá del tipo de conformación de haz (recepción o transmisión) pero la estructura del DSP es idéntica. Un único equipo DSP se puede usar para cualquier tipo de conformación de haz cambiando sólo el número de entradas y salidas (o activando el número requerido de entradas y salidas de un conjunto más grande).

Según la invención, se proporciona un sistema de conformación de haz que comprende un medio de entrada para recibir muestras de un número de señales, representando cada muestra una banda de frecuencias; un medio de conmutación para enrutar todas las señales muestreadas asociadas con la misma banda de frecuencias con conformación de haz a un bloque de procesamiento predeterminado; medios para seleccionar secuencialmente un número predeterminado de señales muestreadas enrutadas según los criterios predeterminados; medios de ponderación para aplicar un número fijo predeterminado de coeficientes de ponderación a las señales seleccionadas; un medio para acumular las señales ponderadas para formar una señal compuesta; y medios para seleccionar dicha señal compuesta y enrutar dicha señal compuesta a una salida apropiada.

El sistema se puede usar para la conformación de haz de recepción donde las muestras recibidas comprenden señales compuestas de un número de haces recibidos por cada uno de un número de elementos de antena y donde las señales enrutadas se seleccionan según el haz al que contribuyen. De forma alternativa, el sistema de conformación de haz se puede usar para la conformación de haz de transmisión donde las muestras recibidas comprenden señales de un número de haces que se transmitirán por cada uno de un número de elementos de antena y donde las señales enrutadas se seleccionan según el elemento de antena por el que serán transmitidas.

La técnica de conformación de haz de la presente invención es ventajosa en cuanto a que la función de ponderación diferente por separado requerida convencionalmente para cada elemento individual del array de antenas es reemplazada por una función de conmutación adaptada para seleccionar sólo las señales que contribuyen a cada haz o a la señal que será transmitida por cada elemento. Un número fijo mucho más pequeño de funciones de ponderación se aplican entonces a las señales seleccionadas con el procesamiento para una única frecuencia para todos los elementos que se realizan en el mismo bloque de procesamiento. Esto reduce la complejidad del procesamiento de conformación de haz sustancialmente y simplifica la reutilización de la frecuencia. También se facilita el uso de algoritmos mucho más eficientes. Además, la incorporación de la funcionalidad de conmutación facilita la flexibilidad total para la selección de cualquier subconjunto de elementos de antena del array para el procesamiento de conformación de haz posterior.

La presente invención también reside en un procedimiento de conformación de haz que comprende las etapas de (a) recepción de muestras de un número de señales, representando cada muestra una banda de frecuencias; (b) enrutamiento de todas las señales muestreadas asociadas con la misma banda de frecuencias con conformación de haz a un bloque de procesamiento predeterminado; (c) selección secuencial de un número predeterminado de señales muestreadas enrutadas según los criterios predeterminados; (d) aplicación de un número fijo predeterminado de coeficientes de ponderación a las señales seleccionadas; (e) acumulación de las señales ponderadas para formar una señal compuesta; la repetición de las etapas (c) a (e) un número predeterminado de veces para formar una pluralidad de señales compuestas; y (f) selección de una señal compuesta de dichas señales compuestas y enrutamiento de dicha señal compuesta a una salida apropiada.

El procedimiento se puede usar para la conformación de haz de recepción donde la etapa (a) comprende la recepción de muestras de señales compuestas de un número de haces recibidos por cada uno de un número de elementos de antena y donde la etapa (c) comprende la selección de señales según el haz al que contribuyen. De forma alternativa, el procedimiento se puede usar para la conformación de haz de transmisión, donde la etapa (a) comprende la recepción de muestras de señales de un número de haces que serán transmitidos por cada uno de un número de elementos de antena y donde la etapa (c) comprende la selección de señales según el elemento de antena por el que serán transmitidas.

Las formas de realización de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- las Figs. 1a y 1b son representaciones simplificadas de sistemas de conformación de haz de recepción y de transmisión conocidos;
- 5 la Fig. 2 es una representación de un diagrama de bloques de un sistema receptor para el uso en un satélite, según la invención;
- la Fig. 3 es una representación de un diagrama de bloques de una forma de realización preferida del sistema de conformación de haz de recepción digital ilustrado en la Fig. 2;
- 10 la Fig. 4 es una representación de un diagrama de bloques de un sistema de transmisión que incluye un sistema de conformación de haz del tipo ilustrado en la Fig. 3, para el uso en un satélite;
- la Fig. 5 es una representación de un diagrama de bloques de un sistema de conformación de haz del tipo ilustrado en la Fig. 3, que se puede usar en sistemas tanto de recepción como de transmisión;
- 15 la Fig. 6 es una representación de un diagrama de bloques de una forma de realización alternativa de la invención que ilustra un sistema de conformación de haz de recepción en el que cada una de las entradas al sistema de conformación de haz proviene de dos elementos de antena;
- 20 la Fig. 7 es una representación de un diagrama de bloques de una forma de realización adicional de la invención que comprende un número de sistemas de conformación de haz de recepción, cada uno del tipo conocido en la fig. 3, pero con el conjunto completo de funciones del procesador de núcleo no combinándose dentro de los mismos conmutadores de tramas de entrada y de salida; y
- 25 la Fig. 8 es una representación de un diagrama de bloques de una forma de realización adicional de la invención que comprende un número de sistemas de conformación de haz de recepción, usándose cada sistema de conformación de haz para procesar señales asociadas con un subconjunto de un número de elementos de antena.

El siguiente análisis de las formas de realización de la invención dirigida a un sistema de antenas de satélite no está destinado en ningún modo a limitar la invención, sus aplicaciones o usos.

30 La FIG. 2 muestra un diagrama de bloques de un sistema receptor 20 de un satélite según una forma de realización preferida de la invención. Aunque el diagrama de bloques se describirá en referencia a un satélite, el sistema también es aplicable al receptor de una estación base o sistema de radar. Como se muestra en la FIG. 2, el extremo frontal de la RF comprende N elementos de antena $22_1, \dots, 22_N$, dispuestos para recibir señales de RF transmitidas, acoplado cada elemento a un amplificador de bajo ruido (LNA) (no mostrado) como es bien conocido, donde la señal de RF recibida es amplificada. Cada señal de elemento amplificada es alimentada a un mezclador de conversión descendente 24 donde la conversión a una frecuencia intermedia (FI) se realiza usando señales respectivas de un oscilador local (no mostrado). La señal de FI es convertida entonces a una señal digital por un convertidor A/D 26 y alimentada a un canalizador digital 28.

40 El canalizador digital 28 implementa un banco de filtros de canal para separar la señal digital compuesta de conversión descendente que contiene las señales individuales para cada elemento del array de antenas en un número predeterminado, N, de señales de canal digitales. El canalizador digital 28 puede ser considerado como un banco de filtros digitales de análisis con cada filtro teniendo un ancho de banda predeterminado. El canalizador digital 28 comprende un conjunto de filtros digitales convolucionales y un procesador de Transformada Rápida de Fourier (FFT). Los filtros digitales convolucionales hacen uso de técnicas de filtros digitales de tasa múltiple, como solapamiento y adición, o polifásicos, para implementar de forma eficiente un banco de filtros digitales agrupando muestras de la señal de conversión descendente entre sí, multiplicando los grupos de muestras por una función convolucional, y remitiendo después las muestras a la FFT para la conversión en las N señales de canales individuales. Sin embargo, se debería entender que el banco de filtros se puede implementar usando cualquiera de diversas técnicas diferentes.

50 Por lo tanto, el canalizador 28 sirve para separar el ancho de banda de entrada que contiene señales de FI individuales independientes las unas de las otras en frecuencia, fase y amplitud eléctrica en múltiples canales de salida de frecuencias concurrentes en el tiempo. En otras palabras, el canalizador segmenta por frecuencia o selecciona por tipo las diversas frecuencias dentro del ancho de banda de FI compuesta en anchos de canal o bins fijos en frecuencia, que se enumeran de 1 a N. Se debería entender que el canalizador también puede operar directamente en el ancho de banda de entrada de RF, no siendo necesaria la conversión a FI para este proceso.

55 Se puede considerar que las N entradas a un conformador de haz 30 desde el canalizador 28 en esta forma de

realización son un múltiplex por división de tiempo (TDM) de muestras. Un TDM en este contexto significa que las señales de datos individuales se envían secuencialmente en el tiempo a lo largo de la misma trayectoria de señal de manera que una trayectoria de señal se pueda compartir entre múltiples señales. Por lo tanto, cada TDM contiene las muestras de uno de los elementos de antena $22_1 \dots 22_N$, para un número de frecuencias y la sincronización de las muestras en los diversos TDMs en la entrada se selecciona de manera que la misma banda de frecuencias o el mismo elemento $22_1 \dots 22_N$, no aparezca en más de una entrada al mismo tiempo. Sin embargo, se debería entender que la implementación de un TDM no es una necesidad y se contemplan otros diversos esquemas de transmisión.

La configuración y funcionamiento del componente conformador de haz 30 de la Figura 2 se describirá ahora con referencia a la Figura 3. El conformador de haz 30 comprende un conmutador de tramas de entrada 32 que recibe N señales de entrada que corresponden a N elementos de antena diferentes $22_1 \dots 22_N$. Las diferentes frecuencias dentro de las señales de los elementos recibidas están presentes en diferentes momentos durante el período de tramas TDM L_{TDM} a través de los conjuntos completos de entradas, teniendo todas las señales en un solo momento frecuencias diferentes. El conmutador de tramas de entrada 32 enruta las señales de los elementos del array $22_1 \dots 22_N$ de manera que las señales de la misma frecuencia con conformación de haz de todos los elementos de antena $22_1 \dots 22_N$ se dirijan a uno particular de un número de F bloques de procesamiento de núcleo $34_1 \dots 34_F$. Se debería entender que por frecuencia aquí se quiere decir una única banda de frecuencias del canalizador 28. Cada entrada de muestra de TDM al conmutador de tramas de entrada 32 está sometida a una función de conmutación diferente y una señal de hasta F de las N entradas se enrutará cada una a un procesador de núcleo diferente $34_1 \dots 34_F$ en cada tiempo de muestreo. En algunos tiempos de muestreo el número de entradas que se enrutan puede ser inferior a F , pero nunca mayor que F . En el caso de $F < N$, no todos los canales son conmutados ya que no se usa cada frecuencia para la conformación de haz. Si se usa cada frecuencia en la conformación de haz, entonces F debe ser al menos N . La operación de conmutación se repite en cada trama de manera que la misma función de conmutación se aplique al mismo intervalo de tiempo en cada trama. Para cada intervalo de tiempo en la trama TDM, cada señal de salida es una copia de una de las señales que están presentes en una de las N entradas.

Dentro de cada bloque de procesamiento de núcleo $34_1 \dots 34_F$, cada muestra de señal enrutada en la frecuencia particular manejada por ese bloque de procesamiento es replicada en un número de señales TDM enrutadas a los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$, donde el número de conmutadores M es un parámetro predeterminado que depende del número de elementos $22_1 \dots 22_N$ a los que se les efectúa una conformación de haz y el número de elementos usados para cada haz, por término medio. La función de los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$ es permitir que la salida de señales por el conmutador de tramas 32 sea reordenada en cualquier orden de intervalo de tiempo que se requiera para el procesamiento posterior y permitir la duplicación de muestras de entrada en momentos diferentes. Cada uno de los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$ almacena todo el contenido de la trama TDM de entrada en una tabla. Los datos son extraídos entonces de la tabla en un momento programado para realizar la reordenación de tiempo que se requiera.

La conformación de haz se realiza en cada una de las bandas de frecuencias de forma individual como se describirá más abajo y se consigue seleccionando ítems de esta tabla secuencialmente en un orden programable de manera que todos los elementos individuales $22_1 \dots 22_N$ que contribuyen a un haz particular sean seleccionados y procesados como se describirá. Ya que es probable que el conjunto total de haces que se conforman para una única frecuencia use todos los elementos de antena $22_1 \dots 22_N$, es necesario que todas las señales de los elementos para esta única frecuencia se procesen conjuntamente de manera que se puedan formar todas las combinaciones de elementos requeridas.

En primer lugar, todas las señales de los elementos para el primer haz son seleccionadas secuencialmente, M cada vez, durante cada intervalo de trama TDM L_{TDM} de modo que se proporcionen datos suficientes para conformar el primer haz. Las salidas de los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$ para el primer haz son alimentadas a un conjunto de multiplicadores $38_1 \dots 38_M$, donde un coeficiente de ponderación programable se aplica a cada señal. Los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$ para el primer haz seleccionan muestras de forma independiente, de manera que no se replique la señal en cada multiplicador $38_1 \dots 38_M$ en un momento particular. Como se describe anteriormente, cada coeficiente de ponderación aplica una fase y peso de amplitud apropiados a la señal y ajustándose el conjunto de coeficientes de ponderación aplicados a cada M señal de entrada, la dirección y el contenido de los haces de salida se pueden variar dinámicamente. Las salidas de los multiplicadores $38_1 \dots 38_M$, dentro del procesador de núcleo $34_1 \dots 34_F$ son entonces sumadas conjuntamente en un sumador 40 para formar un único valor para cada muestra en el TDM.

A continuación, todas las señales de los elementos para el segundo haz son seleccionadas secuencialmente por los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$ y, a medida que son seleccionadas, son ponderadas y el resultado para el segundo haz se suma conjuntamente para emitirse después de que se haya añadido la señal para el último elemento 22 que contribuye al haz. Este proceso es repetido para el número total de haces que se conformarán.

Si el número de señales de los elementos requerido para conformar un haz es mayor que el número de operaciones de multiplicación M realizadas en cada intervalo de trama TDM L_{TDM} , entonces se realiza una etapa adicional de acumulación en el acumulador 42. Esta acumulación se produce durante períodos sucesivos de A intervalos de tiempo de cada trama de manera que un total de $M \times A$ muestras de señal sean seleccionadas y las señales de los elementos ponderadas sean acumuladas. Este valor de A es programable y depende del número de señales

elementales requeridas para conformar un haz. Este valor de A se puede determinar dinámicamente según el tráfico hasta cierto punto. Un gran número de muestras reducirán el número de salidas diferentes que se pueden formar ya que la duración total de las tramas TDM es fija. La variación del valor de A no cambia la cantidad de hardware requerida mientras que variar el valor de M implica el cambio del número de conmutadores de tiempo y multiplicadores requeridos.

5 Cuando se han ponderado suficientes muestras de señal elemental $M \times A$ para conformar un haz con las características deseadas, la suma resultante es pasada a un conmutador de tiempo de salida 44 que se dispone para reordenar las señales del haz dentro del TDM. El propósito principal de este conmutador de tiempo de salida 44 es seleccionar sólo las señales útiles de la función de multiplicación/suma y emitir las en un momento que les permita ser enrutadas al destino requerido. Las señales de salida de la etapa del conmutador de tiempo de salida 44 son
10 alimentadas a un conmutador de tramas de salida 46 donde son enrutadas al combinador de canales apropiado (mostrado en la Figura 2) para formar la señal de salida del procesador de conformación de haz.

15 Como se muestra en la Figura 3, el conformador de haz comprende F procesadores de núcleo, produciendo cada uno un conjunto de haces para una frecuencia particular. Aunque el valor de M es fijo para cada bloque de procesamiento, no necesita ser el mismo para todos los F procesadores de núcleo. Además, A es programable y potencialmente diferente para todos los procesadores de núcleo. Por ejemplo, un haz global cubre toda el área de cobertura del satélite que el operador del satélite usa habitualmente para enviar señales a los terminales para la iniciación o terminación de llamadas. Ya que el haz cubre todo el área de cobertura, esto significa que puede no haber una reutilización de las frecuencias usadas en ese haz en otros haces ya que se solaparían e interferirían. Esto da como resultado habitualmente un gran número de haces que usan la misma frecuencia, cada una con un pequeño número de
20 elementos, o un pequeño número de haces (quizá sólo uno) que usan muchos de, o todos, los elementos. En tal caso, si la duración del TDM es inferior al número de elementos, entonces $M=1$ es suficiente. Sin embargo, el valor de A necesita ser mucho mayor para el bloque de procesamiento que conforma el haz global puesto que se están usando más elementos. Una gran cantidad de reutilización de frecuencia tenderá a usar menos elementos por haz y por lo tanto A es menor para el mismo M. Para cantidades más pequeñas de reutilización de frecuencia, donde se usan más
25 elementos, A debe ser mayor.

El uso de un número fijo de funciones de ponderación para una única frecuencia simplifica el procesamiento considerablemente ya que se evitan las complicaciones que implican el uso compartido de recursos (operaciones de multiplicación) entre más de una frecuencia. Se debería apreciar que es posible compartir el número fijo de funciones de ponderación entre un pequeño número de frecuencias o usar un múltiple del número fijo para una única frecuencia. Manteniéndose el número fijo es posible implementar un número de tales funciones sin ninguna interconexión requerida, que evita la complejidad.

30 El canalizador 28 y el conformador de haz 30 pueden estar seguidos por demoduladores para demodular la señal digital, y los bits de la señal demodulada se convertirían entonces en un paquete de datos y se enrutarían al destino apropiado que podría ser otro enlace de suscriptor, enlace cruzado, o enlace de conexión. El paquete de datos se enruta y entonces se produce el proceso de enlace descendente descrito anteriormente que varía dependiendo de qué tipo de enlace se usa, por ejemplo enlace de suscriptor, cruzado, o de conexión).

35 Como se describe anteriormente, la invención permite el uso de un número fijo de funciones de ponderación para cada frecuencia. Esto se puede usar para un gran número de haces con un pequeño número de elementos que contribuyen a cada haz, o bien un pequeño número de haces con un gran número de, o incluso todos, los elementos que contribuyen a cada haz. Aunque no todos los elementos contribuyen a toda el área de cobertura del haz, en la mayoría de los casos, puede haber situaciones en las que un haz use todos los elementos. De nuevo, como se describe anteriormente, ya que un haz global cubre todo el área de cobertura, puede no haber una reutilización de las frecuencias usadas en ese haz en otros haces ya que se solaparían e interferirían. Esto da como resultado habitualmente un gran número de haces que usan la misma frecuencia, cada uno con un pequeño número de elementos, o un pequeño
40 número de haces (quizá sólo uno) que usan muchos de, o todos, los elementos.

45 Con el fin de ilustrar la reducción de complejidad conseguida por el sistema de la presente invención, se da un ejemplo a continuación.

50 Un satélite tiene una antena con 120 (N) elementos y conforma un total de 30 haces en cada una de las 20 bandas de frecuencias. Con un conformador de haz digital convencional donde la ponderación de haz se aplica a cada elemento, el número total de operaciones de ponderación sería:

$$120 \times 30 \times 20 = 72.000.$$

Con el conformador de haz de la presente invención, si cada haz se conforma de no más de 24 elementos, entonces el número de operaciones de ponderación es obtenido por:

$$24 \times 30 \times 20 = 14.440.$$

55 Esto se podría implementar por un conformador de haz con $M=4$ conmutadores de tiempo seleccionando muestras durante los primeros $A=6$ intervalos de tiempo de cada trama, de manera que hay 24 ($A \times M$) elementos por haz, 20 (F) canales de frecuencias (uno por banda de frecuencias) y una duración de TDM $LTDM$ de 180 ($30 \text{ haces} \times A =$

duración de TDM).

La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques de un sistema transmisor 50 de una unidad de suscriptor según una forma de realización preferida de la invención. El sistema transmisor comprende un mezclador de conversión descendente 52, donde la conversión de la señal de transmisión de RF a una frecuencia intermedia (FI) se realiza usando señales respectivas de un oscilador local (no mostrado). La señal de FI es convertida entonces a una señal digital por el convertidor A/D 54 alimentada a un canalizador 56 y después al conformador de haz 58. Después de la conformación de haz, los haces son alimentados a un combinador de canales digital respectivo donde la señal digital compuesta que contiene las señales individuales que serán transmitidas por cada elemento del array de antenas se separa en un número predeterminado, N , de señales de canal digitales. Estas señales de canal son convertidas a señales analógicas en un convertidor D/A y se les efectúa una conversión ascendente a RF antes de ser transmitidas por el elemento respectivo $60_1 \dots 60_N$ de la antena 60.

La conformación de haz de transmisión según una forma de realización preferida de la presente invención se describirá ahora, de nuevo con referencia a la Figura 3. Como se describe anteriormente, la conformación de haz de transmisión implica la aplicación de coeficientes de ponderación a la señal de transmisión para cada elemento del array. Las entradas al conformador de haz 30 son las diversas señales de canal que serán transmitidas, con todas las señales de canal que van a estar en una única banda de frecuencias en las salidas de los elementos del array $60_1 \dots 60_N$ siendo enrutadas a través de un conmutador de tramas de entrada 32 a un bloque de procesamiento de núcleo predeterminado $34_1 \dots 34_F$.

Dentro del bloque de procesamiento apropiado $34_1 \dots 34_F$, las señales enrutadas son replicadas en un número de conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$, de un modo similar al descrito anteriormente con relación al conformador de haz de recepción 30. En este caso, el número de conmutadores M es un parámetro que depende del número de haces que se conforman en una única frecuencia de cada elemento. De nuevo, las señales son reordenadas como se describe anteriormente con relación al conformador de haz de recepción.

Para cada muestra en el TDM, todas las señales de los conmutadores de tiempo $36_1 \dots 36_M$ que contribuirán al primer elemento de antena 60_1 son seleccionadas secuencialmente y alimentadas a un conjunto de multiplicadores $38_1 \dots 38_M$ donde son ponderadas y después sumadas conjuntamente en un sumador 40. Esto se repite después para las señales que contribuyen a cada uno de los elementos de antena individuales $60_2 \dots 60_N$. En este caso, la suma de las señales ponderadas para cada elemento facilita la reutilización de frecuencia más que la combinación de elementos, como en la conformación de haz de recepción descrita anteriormente.

Si el número de haces en una única frecuencia que serán transmitidos en cada elemento $60_1 \dots 60_N$ excede el número de operaciones de multiplicación M realizadas en cada intervalo de trama TDM L_{TDM} , entonces se requiere la acumulación durante un período de A muestras de manera que se acumule un total $A \times M$ de señales de los elementos ponderadas. Este valor de A es programable y depende del número de haces que serán transmitidos por cada elemento $60_1 \dots 60_N$. La salida de esta segunda etapa de acumulación es un TDM que contiene las señales de transmisión para todos los elementos del array $60_1 \dots 60_N$. El TDM resultante es alimentado a un conmutador de tiempo de salida 44 que se dispone para reordenar las señales de los haces dentro del TDM. En este caso, la reordenación de las señales garantiza que la señal de frecuencia se pueda enrutar al elemento apropiado $60_1 \dots 60_N$ de manera que, dentro de cualquier intervalo de trama TDM, no se pueda replicar cada elemento ni cada frecuencia. Las señales de salida de la etapa del conmutador de tiempo de salida 44 son alimentadas a un conmutador de tramas de salida 46 donde son enrutadas al combinador de canales apropiado para formar la señal de salida del procesador de conformación de haz.

Ya que el conformador de haz es idéntico para la conformación de haz tanto de recepción como de transmisión, es posible implementar un diseño de único DSP, por ejemplo como se muestra en la Figura 5, que funcione para la conformación de haz tanto de transmisión como de recepción. El número de entradas y salidas dependerá del tipo de conformación de haz (recepción o transmisión) pero la estructura del DSP es idéntica. Por lo tanto, un único equipo DSP se puede usar para cualquier tipo de conformación de haz cambiándose sólo el número de entradas y salidas (o activándose el número requerido de entradas y salidas de un conjunto más grande). Sin embargo, esta implementación de un único DSP sólo es posible cuando el conformador de haz tiene las mismas interfaces de entrada y de salida y opera con el mismo flujo de datos para ambos casos de recepción y de transmisión.

Se debería apreciar que el DSP se puede usar para la conformación de haz tanto de transmisión como de recepción simultáneamente. Algunas entradas serán del array de antenas y algunas del enlace de conexión ascendente mientras que algunas salidas serán para el array de antenas y algunas para el enlace de conexión descendente. El único conformador de haz en este caso se podría usar para la conformación de haz de recepción del array de antenas al enlace de conexión y la conformación de haz de transmisión del enlace de conexión al array de antenas al mismo tiempo. Sin embargo, la conformación de haz no se producirá en todas las entradas y todas las salidas y no habrá ninguna conexión de las entradas con conformación de haz a las salidas con conformación de haz. Algunos de los F bloques de procesamiento de núcleo se usarían para la recepción y algunos para la transmisión.

Una forma de realización alternativa de la invención se describirá ahora para la conformación de haz de recepción y se puede usar cuando la duración de la trama TDM es mayor que el número de intervalos de tiempo A multiplicado por el número de haces. Cada bloque de procesamiento de núcleo se dispone para procesar las señales

para más de una banda de frecuencias. Para el ejemplo anterior, la duración de la trama TDM era 180 ($A \times 30$ (el número de haces en la misma frecuencia)), entonces sólo se podía usar una única frecuencia. Si sin embargo, la duración de la trama TDM fuera 360, entonces dos bandas de frecuencias podrían compartir un único procesador de núcleo con una usando la primera mitad de la trama TDM y la otra usando la segunda mitad. En este caso, cada intervalo de tiempo en múltiples entradas al conmutador de tramas de entrada 32 no debe contener la misma frecuencia que cualquier otra entrada que será enrutada al mismo procesador de núcleo.

Para la conformación de haz de transmisión, la condición equivalente es que la duración de la trama TDM sea mayor que el número de intervalos de tiempo A multiplicado por el número de elementos. Cada bloque de procesamiento de núcleo se puede usar entonces para producir las señales de los elementos en dos o más bandas de frecuencias. Se debería entender que cualquier número apropiado de frecuencias puede ser manejado por un único procesador de núcleo dependiendo de los parámetros del sistema. En este caso, cada intervalo de tiempo en múltiples salidas del conmutador de tramas de salida 46 no debe contener la misma frecuencia.

También se deduce, para la conformación de haz de recepción, que si la duración de la trama TDM es inferior al número de intervalos de tiempo requeridos para una única frecuencia, por ejemplo, 90 más que 180, no habría tiempo suficiente para conformar todos los 30 haces dentro de la trama ya que cada haz tarda $A=6$ intervalos de tiempo de TDM. Si se alimentaran las mismas señales de entrada a dos procesadores de núcleo, cada uno podría conformar la mitad de los haces para todos los elementos. No está implicada ninguna operación de ponderación adicional, siendo la única diferencia la partición de las operaciones entre los procesadores de núcleo. Para la conformación de haz de transmisión, el conjunto completo de señales de haz que serán transmitidas se copia a dos procesadores de núcleo cada uno de los cuales produce todos los haces para la mitad de los elementos. Se debería entender que se puede usar cualquier número apropiado de procesadores de núcleo para manejar una única frecuencia, dependiendo de los parámetros del sistema.

Otra forma de realización de la invención se muestra en la Figura 6, donde se usa un único conformador de haz. Para la conformación de haz de recepción, cada una de las N entradas al conmutador de tramas de entrada 32 proviene de dos elementos más que cada una de un único elemento, como se muestra en las Figuras 2 y 3. Las señales de los dos elementos son alimentadas a un canalizador dual en el que las diversas frecuencias dentro de su ancho de banda de FI son segmentadas por frecuencia en anchos de canal o bins fijos en frecuencia, que se enumeran de 1 a N . Esta configuración cambiará las restricciones de los TDMs en cuanto a las señales en el conmutador de tramas de entrada 32 pero el procesamiento en el conformador de haz es idéntico. En lugar de cada intervalo de tiempo en múltiples entradas que no contienen la misma frecuencia del mismo elemento, ahora no debe contener la misma frecuencia de cualquiera del grupo de elementos conectados a la misma entrada. Es la combinación de fuente de entrada y procesador de núcleo la que debe aparecer sólo una vez a través de las N entradas para cada intervalo de tiempo. Aunque, en la forma de realización ilustrada, se usan dos elementos por entrada al conmutador de tramas de entrada, se debería entender que se puede usar cualquier número apropiado de elementos por entrada. Para la conformación de haz de transmisión las salidas del conformador de haz son enrutadas a grupos de elementos más que a elementos únicos.

Otra forma de realización de la invención se describirá con referencia a la Figura 7. En esta implementación, se proporciona un número de conformadores de haz, cada uno del tipo mostrado en la figura 3 pero el conjunto completo de funciones del procesador de núcleo no se combinan dentro de los mismos conmutadores de tramas de entrada y de salida. Para la conformación de haz de recepción, cada canalizador debe enrutar algunas de sus señales a cada uno de los conformadores de haz pero en la salida del conformador de haz no hay necesidad de que haya ninguna interconexión. Para la conformación de haz de transmisión, las entradas a los conformadores de haz pueden provenir de fuentes individuales pero las salidas se deben combinar en el mismo combinador de canales. Aunque se muestran sólo dos conformadores de haz en la Figura 7, se debería entender que se puede usar cualquier número apropiado de conformadores de haz para manejar el conjunto completo de canales, dependiendo de los parámetros del sistema. Esta implementación se puede usar cuando no es posible contener físicamente la cantidad requerida de aritmética (etapas de multiplicación y acumulación) y almacenamiento (etapas de conmutación de tiempo) dentro de un único bloque físico (un circuito integrado). Por lo tanto, se pueden usar múltiples CIs donde cada uno procesa una fracción de las frecuencias con conformación de haz.

Otra forma de realización de la invención se describirá ahora con referencia a la Figura 8, en la que se proporciona un número de conformadores de haz, usándose cada conformador de haz para procesar señales asociadas con un subconjunto de los elementos. Si la capacidad del conformador de haz es insuficiente para manejar un array que tenga un número específico de elementos (por ejemplo, debido a las entradas físicas insuficientes), entonces puede haber múltiples elementos por entrada al conformador de haz.

Para la conformación de haz de recepción, en este caso, las N entradas al conmutador de tramas 32 corresponden a N grupos diferentes de elementos de antena que comparten un procesamiento común. En el ejemplo descrito anteriormente de un satélite que tiene una antena con 120 elementos conformando un total de 30 haces en cada una de las 20 bandas de frecuencias, la mitad de los elementos para cada haz son enviados a un primer conformador de haz mientras que la otra mitad son enviados a un segundo conformador de haz. En lugar de que cada conformador de haz realice 720 ponderaciones para cada frecuencia (24 elementos por haz \times 30 haces), realiza 12 (número máximo de elementos por haz) \times 30 (número de haces). Las salidas de los dos conformadores de haz se suman entonces

5 para dar numéricamente el mismo resultado que para el conformador de haz original con el mismo número de ponderaciones y una cantidad mínima de hardware externo. Esto requiere una etapa adicional de procesamiento para combinar las múltiples funciones de los conformadores de haz para procesar todos los elementos. Esta forma de realización requiere la réplica de todos los componentes de los conformadores de haz, no sólo los bloques de procesamiento de núcleo. Cada conformador de haz completo se dispondría para procesar señales para la mitad de los elementos de antena, siendo la única combinación requerida una suma, más que una ponderación que sería más compleja de implementar. Para la conformación de haz de transmisión, las señales de entrada son replicadas a los dos conformadores de haz y cada conformador de haz procesa todos los haces para la mitad de los elementos. La suma en la salida es reemplazada por una duplicación en la entrada.

10 Se debería entender que aunque la operación de conmutación de tiempo usada para seleccionar secuencialmente las señales de los elementos para cada haz que será conformado complementa al resto del procesamiento, hay muchos otros modos en los que esta operación se podría realizar. Por ejemplo, en lugar de un TDM y un conmutador de tiempo, un conmutador de barras cruzadas (u otro) podría realizar la redistribución de los canales. En este caso, la redistribución es entre diferentes salidas más que diferentes intervalos de tiempo en la misma salida. Esta disposición puede ser ventajosa en una implementación analógica, debido a los problemas con la formación de un TDM en analógico.

15 Se debería entender también que aunque, en las formas de realización descritas anteriormente se usan sistemas de conformación de haz digitales, la invención es igualmente aplicable a sistemas de conformación de haz analógicos. Además, la invención también es aplicable a frecuencias distintas a RF, por ejemplo, en sistemas de sonar con frecuencias de audio.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de conformación de haz que comprende:
 - un medio de entrada (32) para recibir muestras de un número de señales, representando cada muestra una banda de frecuencias;
 - 5 un medio de conmutación (32) para enrutar todas las señales muestreadas asociadas con la misma banda de frecuencias con conformación de haz a un bloque de procesamiento predeterminado (34₁...34_F);
 - medios (36₁...36_M) para seleccionar secuencialmente un número predeterminado de señales muestreadas enrutadas según los criterios predeterminados;
 - 10 medios de ponderación (38₁...38_M) para aplicar un número fijo predeterminado de coeficientes de ponderación a las señales seleccionadas;
 - un medio (40) para acumular las señales ponderadas para formar una señal compuesta, y
 - medios (44, 46) para seleccionar dicha señal compuesta y enrutar dicha señal compuesta a una salida apropiada.
2. Un sistema de conformación de haz según la reivindicación 1, en el que las muestras recibidas comprenden señales compuestas de un número de haces recibidos por un número de elementos de antena y en el que los medios (36₁...36_M) para seleccionar secuencialmente un número predeterminado de señales muestreadas enrutadas según los criterios predeterminados están configurados para seleccionar secuencialmente un número predeterminado de señales enrutadas según el haz al que contribuyen y preferentemente el número predeterminado de señales seleccionadas depende del número de elementos de antena (22₁...22_N) y el número de elementos por haz.
3. Un sistema de conformación de haz según la reivindicación 1, en el que las muestras recibidas comprenden señales de un número de haces que serán transmitidos por un número de elementos de antena (22₁...22_N) y en el que los medios para seleccionar secuencialmente un número predeterminado de señales muestreadas enrutadas según unos criterios predeterminados están configurados para seleccionar secuencialmente un número predeterminado de señales enrutadas según el elemento de antena por el que serán transmitidas y preferentemente el número predeterminado de señales seleccionadas depende del número de haces que se conformarán en una única frecuencia de cada elemento de antena.
- 20 4. Un sistema de conformación de haz según la reivindicación 2, en el que la selección del número predeterminado (M) de muestras de señal se repite un número predeterminado de veces (A), seleccionándose un conjunto diferente de M muestras de señal en cada una de las A repeticiones y el número de veces que se repite la selección de señales depende del número de señales elementales requeridas para conformar un haz.
- 25 5. Un sistema de conformación de haz según la reivindicación 3, en el que la selección del número predeterminado (M) de muestras de señal se repite un número predeterminado de veces (A), seleccionándose un conjunto diferente de M muestras de señal en cada una de las A repeticiones y en el que el número de veces que se repite la selección de señales depende del número de haces que serán transmitidos por cada elemento 60I...60N.
- 30 6. Un sistema de conformación de haz según cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 y 4, que comprende además un número de bloques de procesamiento (34₁...34_F) produciendo cada uno un conjunto de haces para una banda de frecuencias particular.
- 35 7. Un sistema de conformación de haz según cualquiera de las reivindicaciones 1, 3 y 5, que comprende además un número de bloques de procesamiento (34₁...34_F) produciendo cada uno un conjunto de señales de los elementos de antena para una banda de frecuencias particular.
- 40 8. Un sistema de conformación de haz según la reivindicación 6 ó 7, en el que el número predeterminado de señales muestreadas enrutadas seleccionadas es diferente en uno o más de los bloques de procesamiento (34₁...34_F) y preferentemente el número fijo predeterminado de coeficientes de ponderación aplicados a las señales seleccionadas es diferente en uno o más de los bloques de procesamiento.
9. Un sistema de conformación de haz según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el medio de entrada (32) se dispone para recibir un flujo de tramas TDM de muestras de señal y el medio de conmutación (32) se dispone para aplicar una función de conmutación diferente a cada intervalo de tiempo de cada trama TDM.
- 45 10. Un sistema de conformación de haz según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que
 - el medio de conmutación (32) se dispone para enrutar todas las señales muestreadas asociadas con un número de bandas de frecuencias al bloque de procesamiento predeterminado (34₁...34_F), o
 - 50 el medio de conmutación (32) se dispone para enrutar todas las señales muestreadas asociadas con la misma banda de frecuencias con conformación de haz a un número de bloques de procesamiento (34₁...34_F).

11. Un número de sistemas de conformación de haz según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada sistema de conformación de haz procesa un subconjunto del conjunto completo de bandas de frecuencias con conformación de haz de tal manera que todas las bandas de frecuencias con conformación de haz son procesadas por el conjunto completo de sistemas de conformación de haz y en el que
- 5 el medio de entrada (32) de cada sistema de conformación de haz se dispone para recibir señales muestreadas del número de haces recibidos por un subconjunto predeterminado del número de elementos de antena y que comprende además medios para combinar las salidas de cada sistema de conformación de haz, y/o
- 10 el medio de entrada (32) de cada sistema de conformación de haz se dispone para recibir muestras idénticas de un número de señales para múltiples haces y en el que cada sistema de conformación de haz se dispone para procesar los haces que serán transmitidos por un subconjunto de elementos.
12. Un sistema de conformación de haz según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, estando adaptado el sistema para procesar las señales de canal tanto de transmisión como de recepción en un único procesador digital.
13. Un sistema de conformación de haz según la reivindicación 12, en el que el sistema está adaptado para procesar las señales de canal tanto de transmisión como de recepción simultáneamente.
- 15 14. Un procedimiento de conformación de haz que comprende las etapas de:
- (a) recepción de muestras de un número de señales, representando cada muestra una banda de frecuencias;
- (b) enrutamiento de todas las señales muestreadas asociadas con la misma banda de frecuencias con conformación de haz a un bloque de procesamiento predeterminado (34₁...34_F);
- 20 (c) selección secuencial de un número predeterminado de señales muestreadas enrutadas según los criterios predeterminados;
- (d) aplicación de un número fijo predeterminado de coeficientes de ponderación a las señales seleccionadas;
- (e) acumulación de las señales ponderadas para formar una señal compuesta; repitiéndose las etapas (c) a (e) un número predeterminado de veces para formar una pluralidad de señales compuestas, y
- 25 (f) selección de una señal compuesta de dicha pluralidad de señales compuestas y enrutamiento de dichas señales compuestas seleccionadas a una salida apropiada.
15. Un procedimiento de conformación de haz según la reivindicación 14, en el que
- la etapa (a) comprende la recepción de muestras de señales compuestas de un número de haces recibidos por un número de elementos de antena (22₁...22_N) y la etapa (c) comprende la selección de señales según el haz al que contribuyen,
- o
- 30 la etapa (a) comprende la recepción de muestras de señales de un número de haces que serán transmitidos por un número de elementos de antena (22₁...22_N) y la etapa (c) comprende la selección de señales según el elemento de antena por el que serán transmitidas.

Fig. 1a.

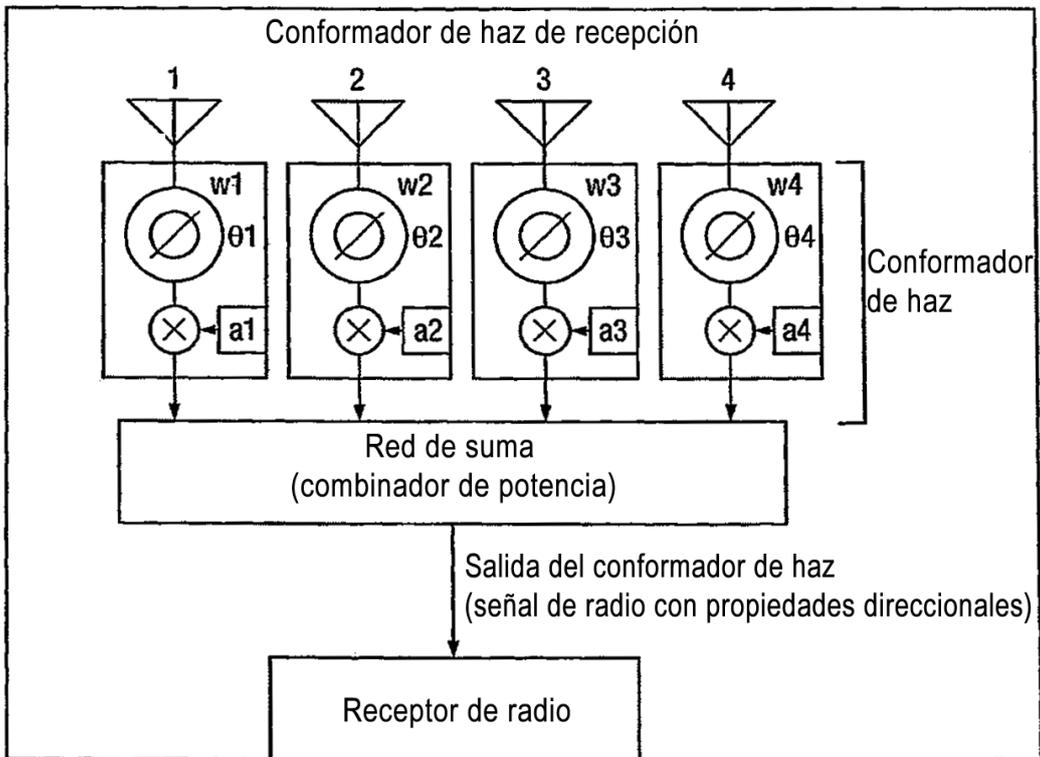


Fig.1b.

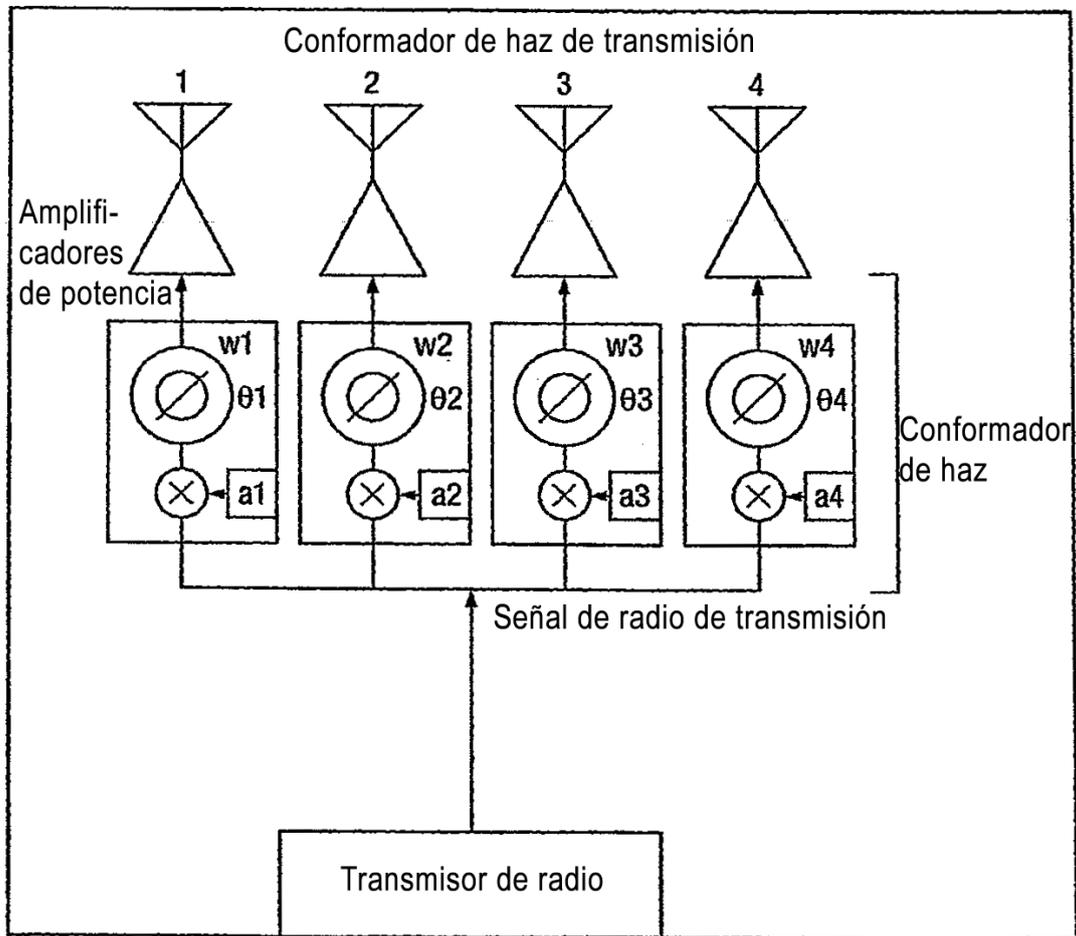


Fig.2.

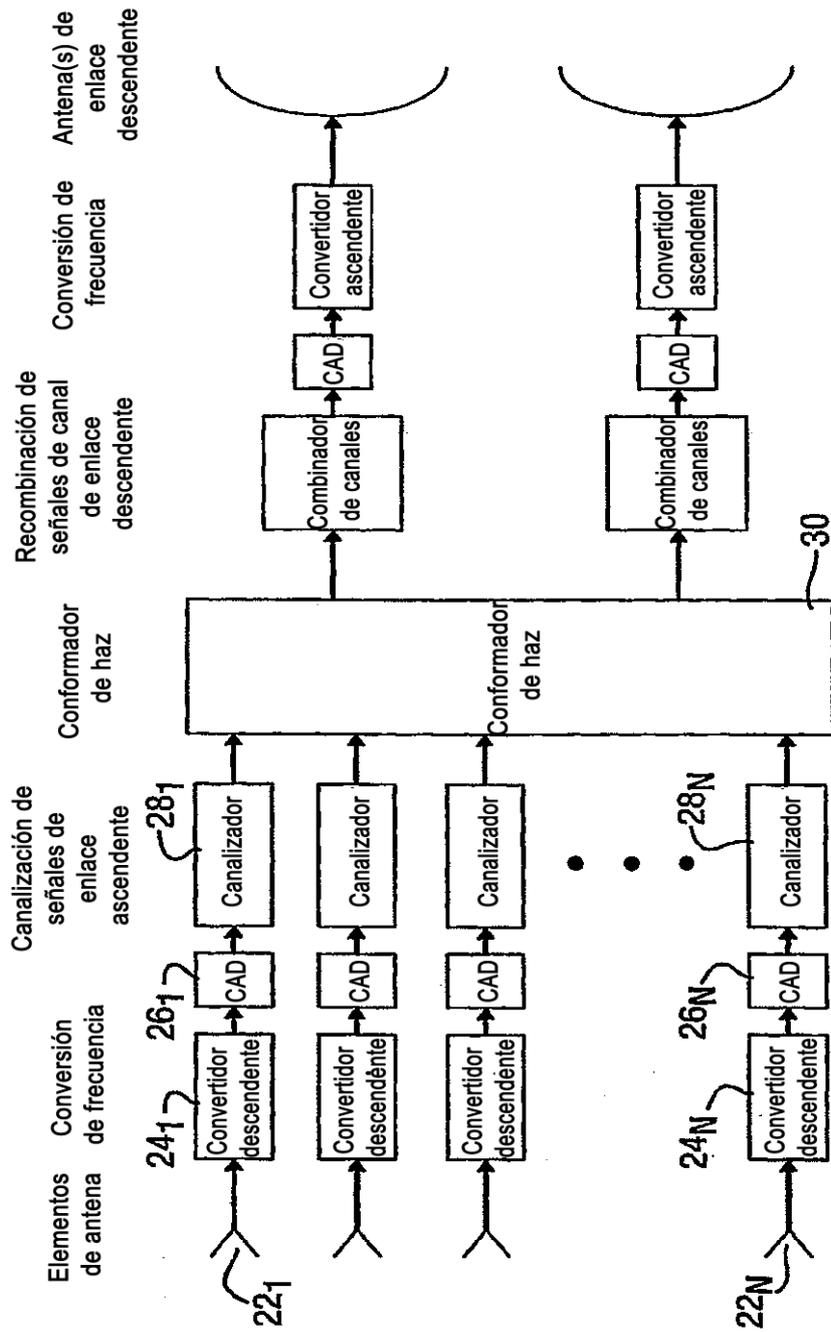


Fig.3.

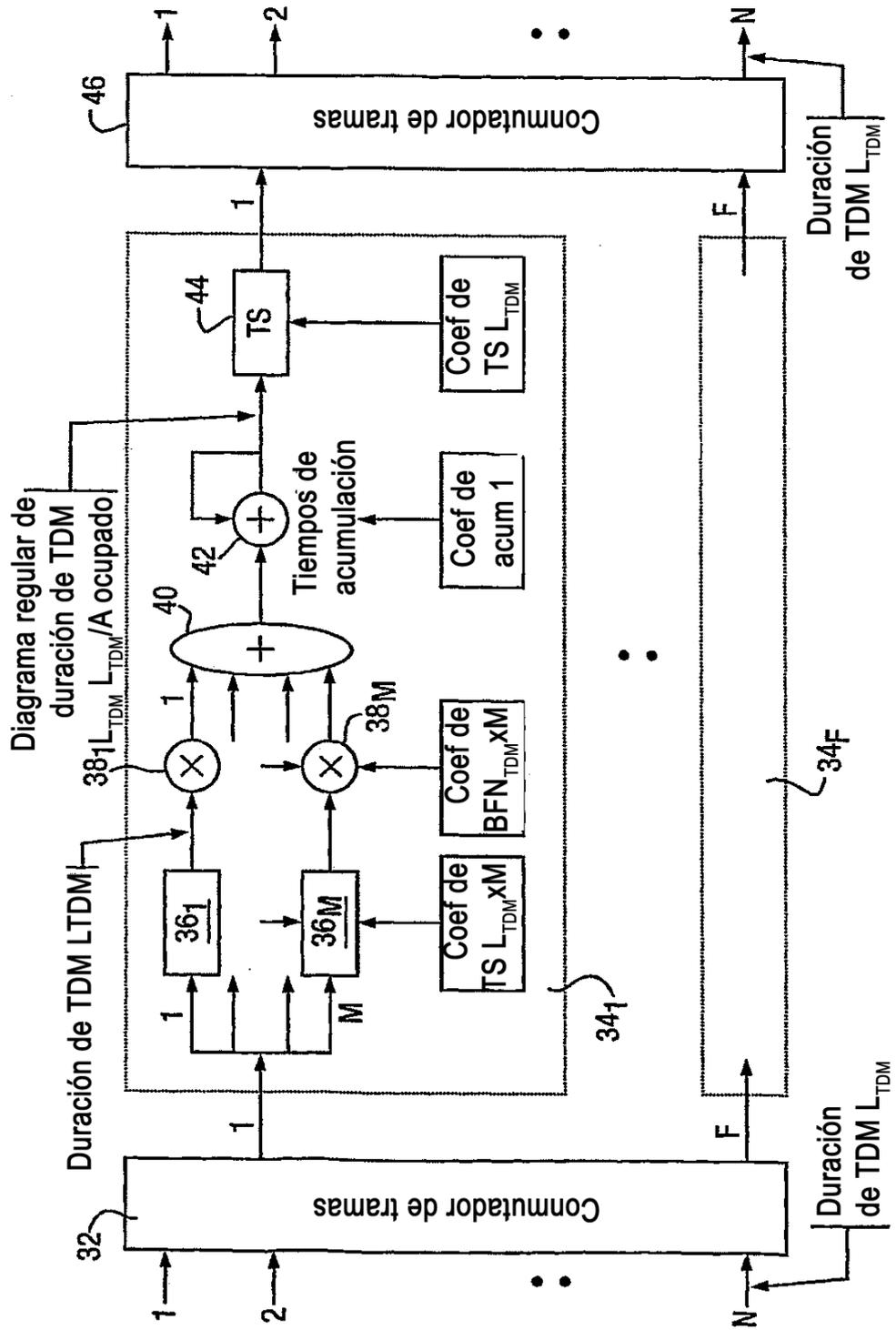


Fig.4.

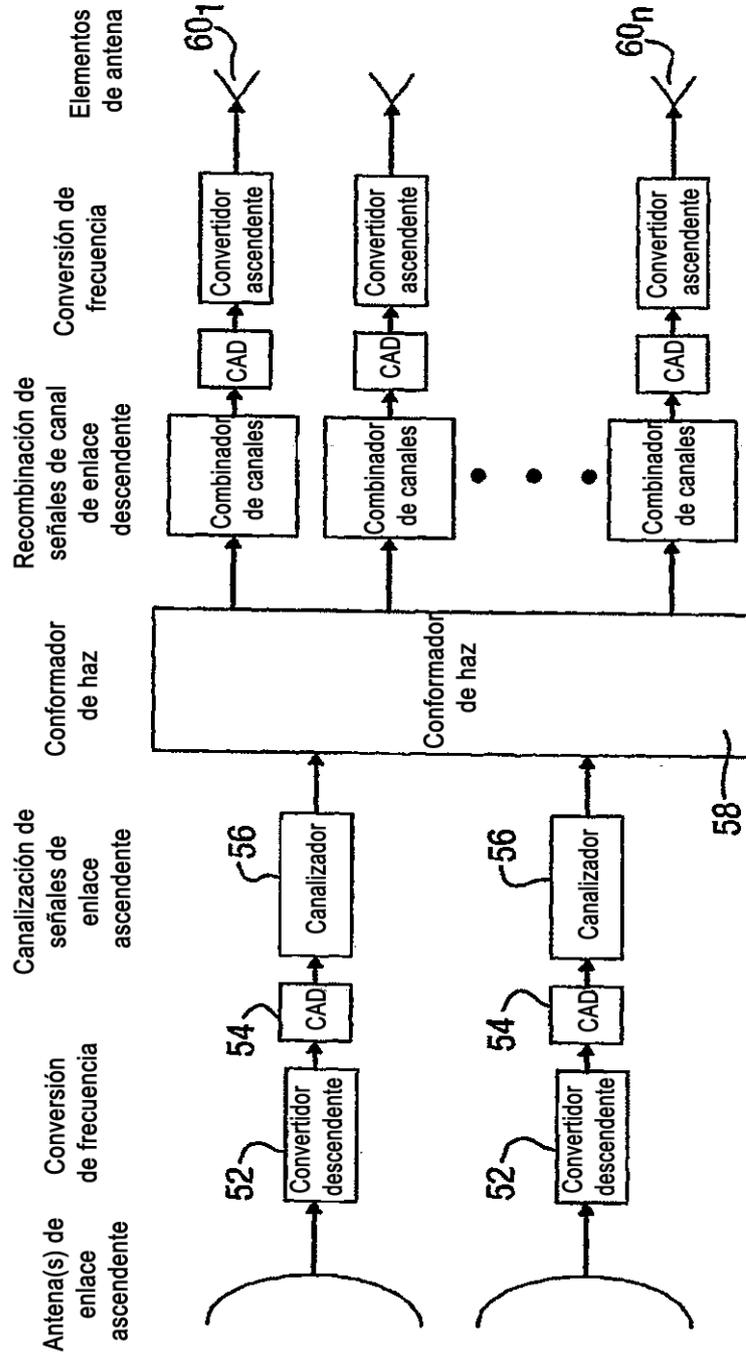


Fig.5.

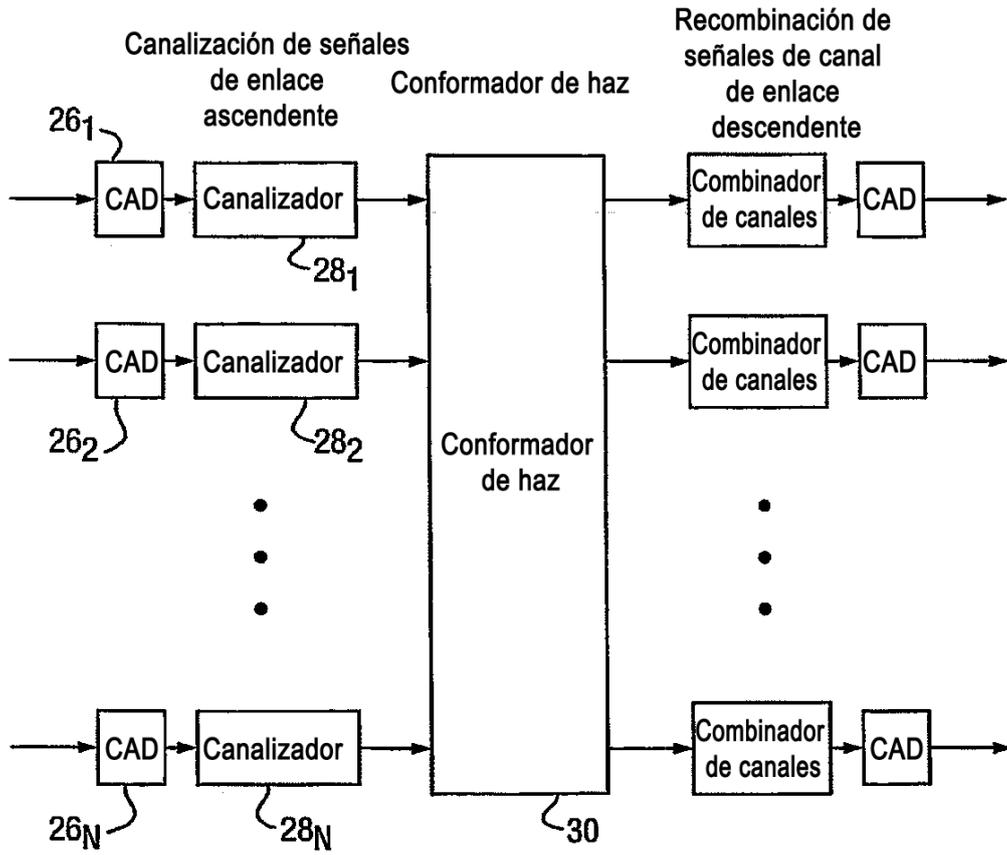


Fig.6.

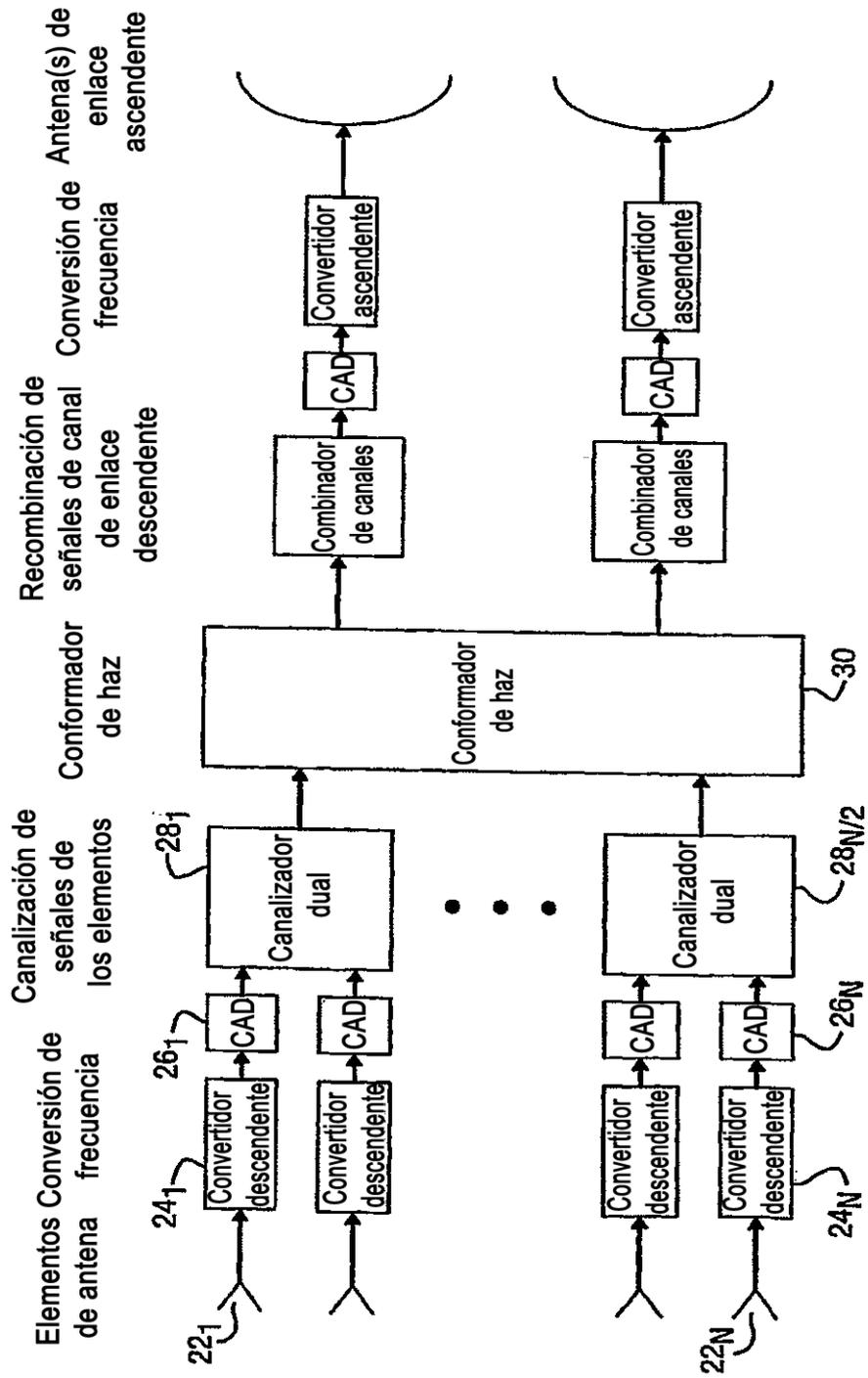


Fig.7.

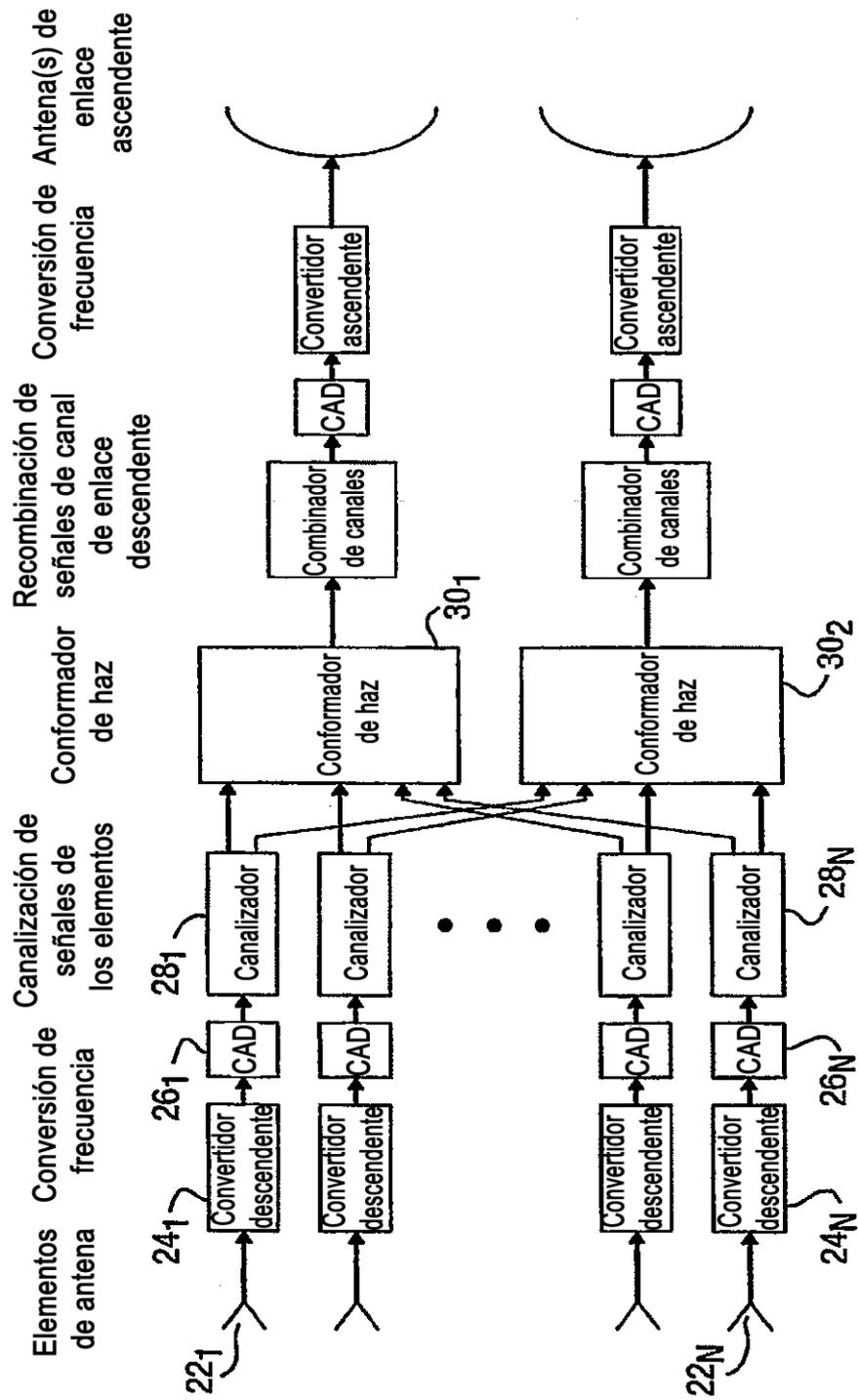


Fig.8.

