

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 287**

51 Int. Cl.:

H04B 7/204 (2006.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.09.2010 PCT/EP2010/064508**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2011 WO11042348**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2010 E 10757800 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2486675**

54 Título: **Antena activa reconfigurable de formación de haces por cálculo**

30 Prioridad:

06.10.2009 FR 0904772

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

24.10.2018

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

OSTER, YANN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 687 287 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

Antena activa reconfigurable de formación de haces por cálculo

El campo de la invención se refiere a las antenas activas reconfigurables de formación de haces por cálculo, principalmente para las antenas destinadas a las aplicaciones integradas, para necesidades de banda ancha.

5 Las antenas activas de formación de haces por cálculo (FHC), o digital beamforming (DBF en idioma anglosajón) están constituidas generalmente por formadores digitales de haces para responder a las necesidades de flexibilidad de la misión cuando hace falta formar un gran número de haces (igualmente más comúnmente denominados "spots" en idioma anglosajón). La flexibilidad de la misión se refiere en particular a la zona de cobertura, la banda pasante y la frecuencia central por haz, la potencia por haz, el número de haces, y la selección de los elementos radiantes utilizados. Estas antenas están particularmente bien adaptadas para aplicaciones integradas sobre ingenieros de tipo satélite, aeronave o navío por ejemplo, que necesitan un control dinámico del apuntado de la antena debido al movimiento propio de la plataforma. Mediante tratamiento digital, estas antenas FHC permiten realizar (en una cierta medida) la operación de reapuntado, pero también calibrar y compensar las imperfecciones físicas del sistema de antena, a todo lo largo de la misión. Los tratamientos digitales pueden realizarse sobre señales digitalizadas en banda base, o en frecuencia intermedia (FI), incluso directamente sobre la portadora de radiofrecuencia (RF). A título de ejemplo, se puede ilustrar la ventaja de las antenas FHC para aplicaciones de satélites de telecomunicaciones. Generalmente, estos últimos tienen como misión cubrir unas zonas geográficas extensas por medio de una multitud de haces estrechos y contiguos, que realizan una cobertura celular. Para ciertos haces, puede atribuirse una banda pasante más elevada, permitiendo por ejemplo la oferta de servicios de vídeo de alta definición. La zona de cobertura puede modificarse así durante la duración de la vida del satélite, así como el plan de frecuencias para integrar nuevos haces lingüísticos por ejemplo. La flexibilidad de las antenas FHC permite responder a la evolución de los servicios mientras se mantiene la misma arquitectura física. En otro ejemplo, principalmente para aplicaciones de satélites de telecomunicaciones militares, se puede estar frente a inhibidores intencionados. Una antena FHC permite por un lado identificar la dirección de los inhibidores, y por otro lado enmascarar (forzando una ganancia nula) estas direcciones, con el fin de mejorar la relación de señal a ruido de las señales útiles. Para estas mismas aplicaciones militares, las zonas de cobertura son naturalmente variables para dirigirse a diferentes teatros de operaciones durante la duración de la vida útil del satélite.

La necesidad creciente en banda tratada conduce a aumentar conjuntamente la banda por haz (de algunas decenas a algunos centenares de megahercios) y el número de haces (típicamente de algunas decenas a más de un centenar de haces). La implementación de antenas FHC requiere un gran número de elementos radiantes, típicamente del orden de algunas decenas a algunos centenares según el tipo de antena (por ejemplo DRA: "Direct Radiating Array", AFR: "Array Fed Reflector" en idioma anglosajón). El tratamiento digital para la formación del haz realiza una combinación lineal sobre las señales de entrada, o sea respectivamente las señales procedentes de los elementos radiantes en el caso de recepción, y los haces a transmitir en el caso de emisión. Los casos de emisión y recepción son análogos y necesitan los mismos tratamientos. Las funciones de cálculo para la formación del haz implican una operación de atribución de coeficientes complejos de ponderación, una operación de multiplicación compleja por haz, por elemento radiante y por muestra de datos, así como una adición compleja para combinar los términos parciales así calculados. Más precisamente, como se ilustra por la figura 3, la función de formación de haces se realiza por medio de combinadores que asignan los coeficientes 11011, 11021, 11031 de ponderación y que realizan las operaciones de multiplicación compleja 1101, 1102, 1103 y de adición compleja 1201, 1202, 1203 de los términos parciales. Estos combinadores se unen para realizar las diferentes combinaciones lineales que corresponden a la formación de haces. Como se ilustra por las figuras 1 (caso de recepción) y 2 (caso de emisión), una antena FHC incluye un conjunto de tarjetas y de equipos 701, 702; 711, 712 electrónicos que integran los componentes digitales que realizan estos tratamientos. La concepción de dichas antenas es problemática para unas aplicaciones integradas, debido a la complejidad lógica y a la disipación de potencia.

La anchura de banda tratada asociada a la cantidad de haces a formar y a la multitud de elementos radiantes movilizadas induce una conectividad muy grande entre las unidades de cálculo (circuitos integrados) y unas necesidades de alta velocidad sobre las interfaces de los componentes digitales. Estos componentes son en general unos ASIC ("Application Specific Integrated Circuit" en idioma anglosajón) o unas FPGA ("Field Programmable Gate Array"). Las interfaces de entrada y de salida de estos componentes se saturan rápidamente mientras que la capacidad en puertas lógicas para implantar los tratamientos FHC está infrautilizada. De donde resulta una complejidad física creciente, no óptima con un gran número de componentes infrautilizados. Esto tiene como consecuencia un aumento de la masa, del volumen, de la disipación y del coste de los sistemas, planteando problemas de factibilidad teniendo en cuenta las limitaciones de las aplicaciones integradas. Se conocen antenas de tipo FHC en la solicitud de patente FR2864710 A1 presentada el 24/12/2003. Este documento describe una arquitectura de red de este tipo de antena.

Para paliar estos problemas de complejidad física y de disipación, se contempla en general considerar dos soluciones. La primera solución consiste en utilizar las tecnologías microelectrónicas más avanzadas, para aprovecharse de las ganancias en densidad de integración, en velocidad de tratamiento, en disipación y en velocidad de las interfaces. Sin embargo, el coste asociado a estas últimas tecnologías aumenta regularmente y puede convertirse en prohibitivo. Por otro lado, los ciclos de renovación de las tecnologías en microelectrónica

tienden a desacelerarse para finuras de grabación inferiores a 90 nm. Esta solución se convierte cada vez más en insuficiente para responder a la evolución de las necesidades que se refieren a la formación de haces por cálculo. Unos estudios de arquitecturas realizados para evaluar la factibilidad de futuras misiones de banda ancha (satélite de telecomunicaciones) muestra que se ahonda la separación entre por una parte la evolución de las necesidades de FHC de banda ancha, y por otra parte lo que permitiría la evolución tecnológica a medio término, por constantes limitaciones en masa y disipación.

Una segunda solución que puede contemplarse reside en las técnicas conocidas de optimización de implantación de los cálculos cuando los operandos son fijos. En caso de la función FHC, esto impone unos coeficientes de ponderación compleja fijos relativamente a la definición de los circuitos. La flexibilidad inherente a la reprogramación del conjunto de los coeficientes ponderadores no puede realizarse entonces más que con una reprogramación a nivel del circuito. Esta solución impone por tanto utilizar unos componentes de tipo FPGA reconfigurables. Sin embargo, estos componentes disponen de capacidades de integración bastante menores que los componentes ASIC. El número de componentes FPGA reconfigurables necesarios para la función DBF sería entonces demasiado elevado, comprometiendo la factibilidad en el plano de la complejidad material y de la disipación.

Se conoce el documento de patente WO 2008/075099 "Beamforming system and method" que propone una solución que permite reducir la complejidad de implantación de la función FHC, en la emisión y/o recepción, en el caso de las antenas activas de tipo AFR. Este tipo de antena forma un haz con un subconjunto de las fuentes, y la solución propuesta es implantar un selector ("switch") de las fuentes corriente arriba de la FHC, en vez de implantar una combinación lineal en todas las fuentes y forzar la ponderación a cero para las fuentes no utilizadas. Sin embargo esta solución se dirige únicamente al caso de las antenas AFR y no resuelve los problemas de congestión de las interfaces de los circuitos integrados, en los casos de banda ancha y para un gran número de haces, conduciendo a grandes complejidades y disipación.

La invención propuesta permite resolver el conjunto de los problemas antes citados vinculados a las antenas activas multihaces.

Un sistema de emisión y/u de recepción de tipo antena multihaces de formación del haz por cálculo incluye una red de elementos radiantes que pueden emitir y/o recibir señales de RF (radiofrecuencia). La función de formación de un haz por cálculo se aplica tanto en la emisión como en la recepción. En la recepción, se forma un haz por combinación lineal compleja de los datos digitalizados, en banda base, o en FI o directamente en RF, procedentes, eventualmente después de la transposición de frecuencia y filtrado, de las señales de RF recibidas por un grupo de elementos radiantes. En la emisión, se forma un haz elaborando las señales de excitación de los elementos radiantes por combinación lineal compleja de las señales digitales, en banda base o en FI o directamente en RF, de los haces a generar, antes de la conversión digital/analógica y transposición eventual de frecuencia.

Más precisamente, la invención se refiere a un equipo de tratamiento de los datos de al menos una señal digital para un sistema de emisión y/o de recepción de las señales de RF de tipo antena activa que incluye una pluralidad de elementos radiantes y que prevé formar al menos un haz por cálculo por medio de una pluralidad de combinadores. Para ello, el equipo de tratamiento de datos incluye al menos dos redes de combinadores, al menos un convertidor vectorial y un convertidor inverso.

El convertidor vectorial comprende una vía de entrada y al menos dos vías de salida, y es adecuado para convertir un dato digital entero de una señal digital presente en la vía de entrada en un dato en representación vectorial por al menos dos componentes en aritmética residual sobre las vías de salida, estando dedicada una vía de salida a cada componente.

El convertidor inverso comprende al menos dos vías de entrada y una vía de salida, y es adecuado para convertir el dato en representación vectorial definido por al menos dos componentes en aritmética residual presentes en las vías de entrada en un dato digital entero en la vía de salida, dedicándose una vía de entrada a cada componente.

El convertidor vectorial y el convertidor inverso se disponen de un lado y otro de las redes de combinadores y las redes de combinadores se disponen de manera que traten en paralelo dichos componentes en aritmética residual para formar el haz en modo de recepción o la señal de excitación de un elemento radiante de la antena en modo de emisión, realizando una red de combinadores los tratamientos asociados a un componente específico en aritmética residual.

Según uno cualquiera de los modos de representación vectorial, un primer componente en aritmética residual se representa en un formato entero sobre una primera dinámica y un segundo componente en aritmética residual se representa en un formato entero sobre una segunda dinámica. El dato digital entero presente en la entrada de un convertidor vectorial se representa en un formato entero sobre una dinámica igual a m , y la dinámica de un componente en aritmética residual representado en un formato entero es estrictamente inferior a m .

En aritmética residual, los números enteros se representan por vectores, y los tratamientos aritméticos son vectorizados: realizados independientemente por componentes, o plan de cálculo. En lugar de realizar clásicamente las operaciones sobre unos enteros sobre n bits, (implícitamente módulo 2^n), los cálculos se realizan en paralelo sobre r componentes enteros, módulo respectivamente m_1, m_2, \dots, m_r . La elección de la base de módulos $\{m_1, m_2,$

..., m_i } debe verificar dos condiciones: por un lado los módulos m_i deben ser primos entre ellos, y por otro lado el producto de todos los módulos debe ser superior a 2^n para representar una dinámica entera sobre n bits. Cada plan de cálculo (i) realiza los tratamientos módulo un entero m_i , con una dinámica específica m_i muy inferior a 2^n . Este sistema de representación vectorizado de los números en aritmética residual se denomina igualmente comúnmente "Residue Number System" (RNS) en idioma anglosajón.

Ventajosamente, una red de combinadores trata el primer componente independientemente del segundo componente.

Ventajosamente, el equipo incluye, para la formación de un haz, un número de redes de combinadores independientes igual al número de componentes en aritmética residual procedentes de un convertidor vectorial.

- 10 La función FHC incluye tantas redes independientes de combinadores por haz, como la dimensión de la base (al menos dos) elegida para realizar los tratamientos en aritmética residual. De ese modo en un plano funcional, una antena de recepción que genera N haces, a partir de i elementos radiantes, en aritmética residual de r componentes, implantará $N \cdot r$ redes de i combinadores, asociados a i convertidores vectoriales ($1:r$) y N convertidores inversos ($r:1$), estando dimensionada cada función para tratar la velocidad correspondiente a la banda requerida por haz. Sin embargo, el experto en la materia sabrá adaptar la utilización de los recursos físicos a la necesidad funcional para optimizar la complejidad.

- 20 Según una primera variante de la invención, el equipo comprende al menos un tipo de medio de implementación que integra los convertidores vectoriales, los convertidores inversos y las redes de combinadores que pueden tratar el primer y el segundo componentes. Se entiende por tipo de medio de implementación cualquier tipo de componentes electrónicos como los circuitos FPGA o ASIC, o un conjunto de componentes electrónicos que forman una tarjeta electrónica o un subequipo que reúne varias tarjetas.

- 25 Según una segunda variante de la invención más modular y adaptada a la necesidad de FHC de banda ancha, el equipo comprende al menos tres tipos de medios de implementación, dedicándose un primer medio de implementación a la integración de redes de combinadores, dedicándose un segundo medio de implementación a la integración de los convertidores vectoriales y dedicándose un tercer medio de implementación a la integración de los convertidores inversos. Esta implantación permite optimizar la complejidad y la disipación, siendo específicos los dimensionamientos de estas tres funciones. Las interfaces (entradas y/o salidas) de los diferentes medios de implementación (tarjetas/circuitos) están entonces en aritmética residual, identificable por la codificación de los datos y las diferentes dinámicas de los componentes en aritmética residual.

- 30 Según una variante, la función FHC forma todos los haces sobre una misma anchura de banda o en otra variante más eficaz, el equipo incluye igualmente unos medios de tratamiento de señales digitales, principalmente medios para multiplexar unas señales digitales en banda estrecha y/o unos medios para demultiplexar una señal digital en banda ancha, pudiendo disponerse corriente arriba o corriente abajo de las redes de combinadores en la cadena de tratamiento de los datos formada por las redes de combinadores y dichos medios de tratamiento.

- 35 Los convertidores vectoriales pueden disponerse corriente arriba de los medios de tratamiento de señales digitales y los convertidores inversos corriente abajo de los medios de tratamiento de señales digitales, tratando los medios de tratamiento de las señales digitales los datos igualmente en aritmética residual. Sin embargo, la función FHC puede ser la única para tratar los datos en representación vectorizada, disponiéndose los convertidores vectoriales directamente corriente arriba de la función FHC y los convertidores inversos directamente corriente abajo de la función FHC.

- 45 De ese modo, la función FHC puede formar los haces sobre diferentes anchuras de banda, respectivamente corriente abajo de un demultiplexor secuencial o banco de filtros en el caso de recepción, y corriente arriba de un multiplexor de frecuencia en el caso de emisión. Ventajosamente, los recursos físicos y la disipación de potencia se movilizan únicamente para tratar la señal útil (canal de frecuencia asociado a una dirección). Ventajosamente, las redes de combinadores elementales se dimensionarán para tratar la velocidad correspondiente a la banda elemental de frecuencias del demultiplexor o del multiplexor de frecuencias, para optimizar la complejidad y la disipación. Las redes de combinadores se juntan sobre cuatro dimensiones: por componentes RNS, por haces, por elementos radiantes, y por banda elemental de frecuencia.

- 50 Según una variante del equipo para una antena que incluye una pluralidad de elementos radiantes y que puede formar al menos dos haces a partir de n elementos radiantes, siendo común al menos un elemento radiante para la formación de dichos haces, los combinadores que tratan el mismo componente de los datos de señales digitales procedentes de dicho elemento radiante común a dichos haces se implementan en un mismo componente electrónico.

- 55 En el caso de las antenas FHC que incluyen una lente o un reflector, por ejemplo una antena de tipo AFR, todos los elementos radiantes no contribuyen necesariamente a formar cada haz, contrariamente al caso de la DRA. Un elemento radiante cualquiera contribuye generalmente a formar un conjunto de haces adyacentes en el caso de recepción, y simétricamente, un haz cualquiera contribuye a la excitación de un conjunto de elementos radiantes adyacentes en el caso de emisión. Ventajosamente para este tipo de antena, poniendo en común las interfaces, es

decir reagrupando los tratamientos que comparten los mismos datos en la entrada, la implantación de la FHC en aritmética residual permite, debido a la reducción de complejidad (en términos de superficie y de velocidad en las interfaces), por plan de cálculo, integrar un mayor número de tratamientos por circuito ASIC/FPGA, resultando una menor disipación y complejidad global.

- 5 Según una variante, un equipo digital / tarjeta / circuito de tipo redes de combinadores implanta unos combinadores para un subconjunto de los planes de cálculo. Ventajosamente, esta opción permite relajar la limitación en velocidad a las interfaces, al nivel de equipos, tarjeta de electrónica y componentes ASIC / FPGA.

- 10 Según una variante, un equipo / tarjeta / circuito digital de tipo redes de combinadores implanta unos combinadores sobre el conjunto de los planes de cálculo. Ventajosamente, el conjunto de las redes de combinadores de la FHC puede implantarse con un mismo tipo de equipo, incluso con un mismo tipo de ASIC/FPGA, para optimizar los costes de desarrollo y de producción.

- 15 A pesar del suplemento de complejidad inducido por los convertidores vectoriales e inversos, esta representación vectorizada es particularmente ventajosa para la función FHC de banda ancha, que implica un gran número de multiplicadores y que funciona a alta velocidad. En efecto, el paralelismo permite acelerar los tratamientos aritméticos en varios planos de cálculo de menor complejidad, con una dinámica reducida por plan de cálculo, lo que reduce igualmente la velocidad en las interfaces de las funciones de tratamiento por plan de cálculo. La granularidad de implantación se mejora grandemente, tanto sobre el plano de las interfaces (velocidad funcional reducida conjuntamente con la dinámica) como sobre el plano de la complejidad lógica de los tratamientos elementales (operaciones sobre unas dinámicas reducidas), lo que permite aprovechar mejor las capacidades de integración de los componentes ASIC y/o FPGA, conduciendo a una menor complejidad de implantación de la función FHC. Por otro lado, la disipación y la velocidad de tratamiento de la función FHC se mejoran igualmente gracias a la reducción de la dinámica de los operadores elementales (sumadores, multiplicadores).

- 20 Según una variante, los convertidores vectoriales, los convertidores inversos y los combinadores se conciben por medio de componentes de tipo FPGA. En efecto, la reducción de la granularidad de las funciones de cálculo elemental permite utilizar unas FPGA, que ofrecen menor capacidad de integración que los ASIC.

La implementación de las funciones FHC según la invención ofrece varias ventajas con relación a las tecnologías clásicas en los casos de necesidades exigentes de los haces, elementos radiantes y banda ancha.

- 30 Una primera ventaja del fraccionamiento de los tratamientos por planos de cálculo independientes es la reducción significativa de la velocidad de las interfaces por función combinador elemental, que constituye generalmente un factor limitador de la eficacia de las arquitecturas físicas.

Una segunda ventaja, generalizando la primera, es la reducción de la granularidad de implantación de la función combinador elemental, en superficie, y en disipación, como en interfaz, permitiendo una mejor utilización de los recursos físicos, para una menor complejidad y disipación global.

- 35 Una tercera ventaja, ligada a la segunda, es la introducción de una nueva dimensión de modularidad, por plan de cálculo, como complemento de las dimensiones por haz, por elemento radiante, y por banda elemental de frecuencia, para una mayor flexibilidad de concepción y modularidad. Por ejemplo, un ASIC que realice los tratamientos FHC en un plan de cálculo particular (módulo 13,...) podrá reutilizarse si la dinámica global de cálculo debía evolucionar para otra antena FHC.

- 40 Una cuarta ventaja, resultante igualmente de la segunda, es la posibilidad de utilizar unas tecnologías microelectrónicas menos competentes, FPGA o ASIC de menor capacidad de integración o menos rápidas, para reducir los costes.

Una quinta ventaja, inherente a la reducción de dinámica por plan de cálculo y a la simplificación de los operadores aritméticos, es la reducción de disipación asociada a una mejora de la frecuencia crítica de funcionamiento.

- 45 Una sexta ventaja, vinculada a la primera, permite integrar más tratamientos FHC por circuito integrado, poniendo en común las interfaces para tratamientos que se refieren a un mismo conjunto de entradas, en el caso de las antenas FHC AFR o que comprenden una lente.

La invención permite por tanto alcanzar objetivos buscados para las aplicaciones integradas.

La invención se comprenderá mejor y surgirán otras ventajas con la lectura de la descripción que sigue dada a título no limitativo y gracias a las figuras adjuntas entre las que:

- 50 La figura 1 representa el sinóptico de la cadena de tratamiento de los datos de una antena FHC en recepción.
 La figura 2 representa el sinóptico de la cadena de tratamiento de los datos de una antena FHC en emisión.
 La figura 3 representa el sinóptico del tratamiento digital de formación de vía, común para emisión y recepción.
 La figura 4 representa una antena FHC de tipo AFR, y la iluminación de las fuentes por las manchas focales.
 La figura 5 representa el sinóptico de un combinador elemental, que calcula y acumula un término parcial del

cálculo FHC.

La figura 6 representa un ejemplo de unión matricial de los combinadores para formar un conjunto de vías a partir de un mismo conjunto de entradas.

La figura 7 representa un sinóptico de tratamiento digital en RNS.

5 La figura 8 representa el sinóptico de una implementación de tratamiento FHC en RNS.

La figura 9 ilustra la puesta en común de las interfaces (elementos radiantes en el caso de recepción) para formar eficazmente unos haces adyacentes.

10 La invención se aplica a las antenas activas FHC de tipo DRA y a las antenas que incluye un reflector (FAFR por "Focal Array Fed Reflector" y AFR, "Array Fed Reflector" por ejemplo). Se aplica a cualquier antena activa FHC y preferentemente a las antenas que comprenden una red de elementos radiantes constituida por un gran número de fuentes, es decir a título indicativo hasta más de un centenar, y destinadas a la formación de una multitud de haces de banda ancha, es decir a título indicativo hasta un centenar de haces sobre una banda de frecuencia de aproximadamente 100 a 500 MHz. Sin embargo, estas últimas indicaciones no limitan en ningún caso el alcance de la invención. Esta se aplica ventajosamente a antenas más complejas que puedan comprender un número mayor de elementos radiantes y que puedan emitir y/o recibir en un número mayor de haces sobre unas bandas de frecuencia más amplia. El modo de implementación descrito en lo que sigue se refiere particularmente a una antena integrada para satélite.

20 Como se ha representado en la figura 1, la antena de referencia según la invención incluye unos elementos 10, 11, 12 radiantes, conectados a cadenas de entrada analógica que realizan unas operaciones de filtrado 210, de amplificación 310, eventualmente de transposición de frecuencia 410 a frecuencia intermedia o a banda base, unos convertidores 510 analógico/digital, eventualmente unas funciones 610 de demultiplexado en frecuencia, y unas funciones de formación de haz por el cálculo 701, 702. La señal digital a la salida del CAN es de banda ancha. La canalización por demultiplexado 610 en frecuencia puede realizarse antes o después de la FHC. En un modo de realización ventajoso, la canalización se realiza antes de la FHC, que trata entonces una multitud de señales 611, 612, 613 en banda estrecha. La salida 611, 614 de cada demultiplexor 610 en frecuencia se conecta a las entradas de un conjunto 701, 702 de formadores de haces, que generan las señales digitales 801, 802 resultantes del filtrado espacial que producen la ganancia de antena en las direcciones deseadas.

30 De manera simétrica, como se ha representado en la figura 2, la antena en la emisión según la invención incluye unos elementos 60, 61 radiantes, conectados a unas cadenas de salida analógica que realizan unas operaciones de filtrado 260, de amplificación 360, de transposición de frecuencia 460, unos convertidores 560 digital/analógico, eventualmente funciones 660 de multiplexado en frecuencia, y funciones 711, 712 de formación de haz por el cálculo. La señal digital en la entrada del CNA es de banda ancha. El multiplexado 660 en frecuencia puede realizarse antes o después de la FHC. En un modo de realización ventajoso, el multiplexado en frecuencia se realiza después de la FHC, que trata entonces una multitud de señales 852, 857, 862, 867 en banda estrecha. Las entradas de cada multiplexor 660 en frecuencia se conecta a las salidas 652, 651 de un conjunto 711, 712 de formadores de haces que construyen la señal de excitación para un elemento radiante, en una banda elemental de frecuencia.

40 El tratamiento digital FHC, llamado también de formación de vía, es idéntico en emisión y en recepción, y corresponde a una combinación lineal compleja sobre las entradas. Como se ilustra en la figura 3 para tres entradas, las señales 1001, 1002 y 1003 de entrada se ponderan con los coeficientes 11011, 11021, 11031 complejos asignados mediante los multiplicadores complejos 1101, 1102 y 1103 cuyas salidas 1111, 1112 y 1113 se suman en unos sumadores 1201, 1202, 1203, produciendo unos términos parciales 1211, 1212, 1213. El último término parcial 1213 de la cadena de suma corresponde entonces a la salida de la función FHC. En un modo de realización ventajoso, este conjunto regular de combinadores permite realizar unos tratamientos de FHC de diversas complejidades con un mismo módulo elemental. Un combinador elemental incluye un multiplicador y un sumador complejos, y calcula el término parcial para una entrada y una vía.

50 La figura 5 representa un combinador 502 que realiza el cálculo del término parcial para la entrada funcional y una vía. Este circuito elemental incluye dos entradas, para respectivamente la señal 5022 útil y la suma 5021 parcial de los términos parciales corriente arriba, y una o dos salidas, para respectivamente el nuevo término 5023 parcial agregado, y opcionalmente para propagar a la salida 5024 la señal 5022 útil hacia otros combinadores. De manera ventajosa, esta propagación de la señal 5022 / 5024 útil entre combinadores permite gestionar la distribución de las señales en particular en el caso de un gran número de combinadores, y permite una arquitectura modular para la función FHC. El combinador elemental incluye un multiplicador 5026 complejo que pondera la señal 5022 de entrada por un coeficiente 5025, siendo sumado a continuación el resultado 5028, a través de un sumador 5027, con el término 5021 parcial corriente arriba para producir el término 5023 parcial agregado a la salida.

55 Como se ilustra por la figura 6, los combinadores 22, 23 se unen en matriz con el fin de formar un conjunto de vías 26, 27, 28 a partir de un conjunto de entradas 20, 21. Según esta arquitectura modular, la señal útil de cada entrada 20, 21 se propaga poco a poco entre combinadores adyacentes. La figura 6 presenta el caso particular de un montaje regular según el que cada entrada contribuye a la formación de todas las vías, como en el caso de las antenas DRA o de ciertas antenas AFR.

60 Como se representa por la figura 4, una antena AFR está constituida por un reflector 232 que refleja los rayos 231

incidentes correspondientes a una dirección 230, sobre un conjunto de fuentes o elementos radiantes, según una mancha 240 focal. Los elementos 251, 252, 253, 254 radiantes iluminados por la mancha focal que corresponden a la dirección 230 se movilizan entonces para formar el haz en esta dirección. Otros elementos 261, 262 radiantes corresponden a otras manchas 241 focales para otros haces. Unos haces adyacentes corresponden a unas
 5 manchas focales adyacentes o superpuestas, con elementos 252 radiantes en común. En un modo de realización ventajoso, el tratamiento FHC de haces adyacentes se implementa en un mismo circuito o conjunto de circuitos, con el fin de limitar el replicado de datos sobre las entradas/salidas externas de diferentes circuitos, poniendo en común las interfaces, esto con el fin de optimizar la complejidad y la disipación.

La figura 7 representa un sinóptico de la implantación en aritmética residual (RNS), para tratamientos digitales lineales a base de sumas y de multiplicaciones, sobre unas señales enteras. La señal 100 de entrada se convierte inicialmente en la base RNS (seleccionada para soportar la dinámica requerida), con ayuda de un convertidor 3 vectorial que genera los componentes 101, 102, 103 RNS de la señal útil 100. Posteriormente los tratamientos
 10 funcionales se realizan en paralelo e independientemente sobre los diferentes planos 50, 51, 52 de cálculo, módulo los módulos respectivos de la base RNS. Los componentes 104, 105, 106 en aritmética residual del resultado obtenido sobre los diferentes planos de cálculo se convierten finalmente en la señal 107 entera, según la representación deseada, con ayuda de un convertidor 4 inverso. En la figura 7, la base RNS mantenida incluye tres componentes, calculados módulo {11, 13, 17}, y que permite una dinámica máxima de $11 \cdot 13 \cdot 17 = 2431$, compatible con una aritmética binaria clásica sobre 12 bits ($2^{12} = 2048 < 2431$). Los planos de cálculo módulo 11 y módulo 13 necesitan una representación entera sobre 4 bits, mientras que el plano de cálculo módulo 17 necesita 5 bits.
 15 Ventajosamente, los tratamientos aritméticos se realizan en paralelo e independientemente sobre tres planos con unas dinámicas parciales correspondientes a 4 o 5 bits en lugar de un único canal de cálculo sobre 12 bits. Cada plano de cálculo se diferencia por su dinámica específica y explícita, observable sobre las interfaces de salida.

La figura 8 describe una implantación RNS de la función FHC que forma un conjunto de vías 93, 94 (haces formados en la recepción, señales de excitación de los elementos radiantes en la emisión) para un conjunto de entradas 71, 72, 73 (señales procedentes de los elementos radiantes en el caso de recepción, señales asociadas a los haces a generar en emisión). Los convertidores 30, 31 y 32 vectoriales se conectan entre las entradas 71, 72, 73 funcionales y varios planos de cálculo integran unas redes de combinadores (501, 502, 503,...), (511, 512, 513,...). Cada convertidor vectorial incluye una vía 71 de entrada en representación entera y varias vías de salida para los componentes 722, 721 en representación residual. La entrada 71 funcional se une a la entrada del convertidor 30 vectorial, el combinador 501 se une a la primera vía 722 de salida del convertidor y el combinador 511 se une a la segunda vía 721 de salida del convertidor. Los combinadores 501 forman parte de una primera red de combinadores (501, 502, 503,...) que permite tratar unos datos en un primer formato de datos en representación residual. El combinador 511 forma parte de una segunda red de combinadores (511, 512, 513,...) que permite tratar unos datos en un segundo formato de datos en representación residual.
 25

La primera red de combinadores se conecta además de la manera siguiente. Se conecta una vía de entrada del combinador 501 a una vía de salida del convertidor 30 y se conecta una vía de salida a una vía de entrada del combinador 502. Una vía de entrada del combinador 502 se une a una vía de salida del convertidor 31 y una vía de salida del combinador 502 se une a una vía de entrada del combinador 503. Una vía de entrada del combinador 503 se une a una vía de salida del convertidor 32 y una vía 91 de salida del combinador 503 se une a una vía de entrada del convertidor 40 inverso. Otra red de combinadores se dispone de manera similar con los convertidores 30, 31 y 32 y el convertidor 40 inverso. La vía 1 generada por la función FHC, procedente del convertidor 40 inverso, se forma por medio de las redes de combinadores antes mencionadas, tratando cada una de las redes independientemente unos datos en un formato distinto.
 30

Pueden generarse otros haces a partir de las mismas entradas 71, 72, 73 funcionales que contribuyen a la formación de la vía 1. Para ello, para cada una de las vías, se implementan varias redes de combinadores y se unen a las otras redes de combinadores que pertenecen a un mismo plano de cálculo. Por ejemplo, tres otras vías que proceden de los convertidores 41, 42 y 43 inversos, y para cada una de las vías, varias redes de combinadores, que tratan datos de formatos distintos correspondientes a los diferentes planos de cálculo, se disponen de la misma manera que las redes que forman la vía 1. Las redes de combinadores que contribuyen a diferentes vías y que pertenecen a un mismo plano de cálculo se interconectan, o bien mediante una distribución directa de cada componente RNS de los convertidores vectoriales hacia el conjunto de los combinadores asociados, o bien por propagación de cada componente poco a poco entre combinadores adyacentes, como se ilustra en la figura 8. Para ello, se une una vía 723 de salida del combinador 501 a una vía de entrada del combinador 504 que contribuye a la formación de la vía 2, y así sucesivamente para las redes de combinadores adyacentes. Los combinadores 502, 503, 511, 512, 513 se conectan igualmente a otros combinadores que pertenecen a unas redes de combinadores destinadas a formar otras vías a partir de las mismas entradas 71, 72, 73 funcionales.
 35

Más generalmente, los combinadores asociados a un mismo plano de cálculo, a un conjunto de entradas funcionales, y para la formación de una misma vía, se interconectan para acumular los términos parciales y constituyen una red de combinadores. Los combinadores que pertenecen a diferentes planos de cálculo no comparten interconexiones. Los combinadores que tratan unos datos del mismo formato y que contribuyen a formar diferentes vías a partir de las mismas entradas funcionales se interconectan para propagar los componentes RNS de la señal de entrada funcional.
 40

Estas diferentes redes de combinadores realizan los tratamientos independientemente y en paralelo, sobre unas dinámicas parciales reducidas. Pueden implantarse sobre circuitos integrados o sobre equipos electrónicos diferentes, pudiendo entonces repartirse los tratamientos digitales asociados a una misma entrada digital sobre equipos distintos. Según otra organización física, los tratamientos se fraccionan por vía y/o conjuntos de entradas funcionales con el fin de integrar el conjunto de los componentes RNS en el seno de un mismo circuito integrado o equipo electrónico, para reducir los costes de desarrollo sin sacrificar la modularidad. Unos equipos específicos integran los convertidores vectoriales y los convertidores inversos, en particular en el caso de antenas FHC complejas, con un gran número de elementos radiantes, para un gran número de haces, en banda ancha. Todos estos equipos electrónicos (convertidores vectoriales, convertidores inversos, y tratamientos FHC) incluyen entonces unas interfaces características de datos en representación residual, con unos componentes sobre dinámicas específicas, que corresponden a unos módulos primeros entre sí.

Como se ilustra en la figura 3, las antenas FHC convencionales incluyen una única red de combinadores por vía (1101, 1201), (1102, 1202), (1103, 1203), tratando la red unos datos en aritmética entera clásica sobre unas dinámicas de 10 a 16 bits o más. Con un modo de implementación según la invención, la implementación de los tratamientos FHC se fracciona sobre varios planos de cálculo independientes con unas dinámicas parciales reducidas a algunos bits, lo que permite reducir grandemente la densidad de interconexiones a nivel de los operadores lógicos. Esto conduce ventajosamente a una menor complejidad superficial, a una colocación y encaminado simplificado de los circuitos integrados, a una menor disipación y a una frecuencia de funcionamiento superior.

Otra ventaja significativa, resultante del fraccionamiento de los tratamientos sobre planos de cálculo con dinámicas parciales grandemente reducidas, se refiere a la granularidad de implementación más fina de los combinadores, en términos de complejidad superficial, de disipación y de velocidad en las interfaces. La ganancia en granularidad de implantación permite una mejor utilización de los recursos físicos para reducir conjuntamente la complejidad y la disipación de la función FHC.

En el caso de antenas de reflector o de lente, esta ventaja puede amplificarse reagrupando por circuito los tratamientos que se refieren a un conjunto de vías (haces en recepción, elementos radiantes en emisión) formadas a partir de entradas funcionales (elementos radiantes en recepción, haces en emisión) compartidas. En efecto, poniendo en común de ese modo las interfaces, la distribución de las señales de entradas funcionales se reparte entonces a nivel de tarjeta y en el seno de los circuitos integrados de tratamiento. Esto permite relajar aún más la limitación en velocidad a las interfaces de los circuitos. La figura 9 representa un ejemplo de puesta en común de los elementos radiantes por el modo de implementación de la invención. La red de veintinueve elementos 13, 14, 15... radiantes permite formar cinco haces correspondientes a las manchas 60, 61, 62, 63, 64 focales. Integrando los combinadores asociados a estos cinco haces adyacentes en un mismo circuito ASIC / FPGA, para uno o varios planos de cálculo, esto representa una velocidad media de datos de entrada correspondiente a 5,8 elementos radiantes por haz, para una hipótesis de 7 elementos radiantes por haz independiente. Esta organización física permite por tanto integrar un mayor número de combinadores por circuito integrado, teniendo en cuenta la limitación en velocidad de las interfaces, para una complejidad y una disipación globales reducidas.

Según la necesidad a satisfacer en cantidad de haces, de elementos radiantes y de banda tratada, y según la capacidad de integración de la tecnología ASIC/FPGA elegida, la implementación según la invención de la función FHC puede permitir integrar unos tratamientos de al menos un plano de cálculo completo, para todas las vías a formar, en el seno de un único ASIC/FPGA. Esto significa que el circuito puede realizar los tratamientos sobre un componente RNS, para al menos una entrada funcional y para el conjunto de las vías formadas con esta entrada funcional. En este caso, ya no es necesario asignar unas interfaces estándar del circuito para propagar a la salida las señales de entradas funcionales, lo que permite por tanto aumentar aún más la integración de las funciones de combinadores, estando limitada generalmente esta integración por la capacidad en las interfaces.

Según las variantes de la invención en las que la función FHC forma unos haces sobre una misma anchura de banda, para una antena FHC en recepción, se conecta una señal digital procedente de un elemento radiante a la vía de entrada de un convertidor vectorial, las vías de salida de dicho convertidor se conectan a las vías de entrada de un conjunto de redes de combinadores, las vías de salida de dichas redes de combinadores se conectan a las vías de entrada de un convertidor inverso, cuya salida produce un haz.

Según las variantes de la invención para las que la función FHC forma unos haces sobre una misma anchura de banda, para una antena FHC en emisión, una señal digital correspondiente a una haz a emitir se conecta a la vía de entrada de un convertidor vectorial, las vías de salida de dicho convertidor se conectan a las vías de entrada de un conjunto de redes de combinadores, las vías de salida de dichas redes de combinadores se conectan a las vías de entrada de un convertidor inverso, cuya salida produce la señal de excitación para un elemento radiante.

Según un modo de realización como se representa por las figuras 1 y 2, el equipo de tratamiento de los datos comprende igualmente unos medios 610 y 660 de tratamiento de datos, además de la función FHC, que realiza respectivamente las funciones de demultiplexado y multiplexado en frecuencia. Las funciones de conversión vectorial y de conversión inversa pueden disponerse según diversas disposiciones alrededor de la función FHC, unas funciones de demultiplexado y multiplexado en frecuencia de manera que estas dos últimas funciones se

5 realicen sobre unos datos en representación vectorizada o en representación clásica. Según una primera disposición en la que las funciones de demultiplexado y de multiplexado en frecuencia se realizan sobre los datos en representación vectorizada entonces los medios de tratamiento de los datos que realizan estas últimas funciones se disponen entre los convertidores vectoriales y los convertidores inversos asociados. Según una segunda disposición en la que las funciones de demultiplexado y de multiplexado en frecuencia se realizan sobre unos datos en representación clásica entonces los medios de tratamiento de los datos que realizan estas últimas funciones se disponen alrededor de la parte de la cadena de tratamiento de los datos situada entre los convertidores vectoriales y los convertidores inversos asociados.

10 La implementación de la invención implica la utilización de un procedimiento particular de tratamiento de los datos. Para ello, el procedimiento de cálculo para la formación de un haz incluye las etapas sucesivas siguientes en modo de emisión y/o percepción:

- Conversión de datos representados en un formato entero hacia un formato de datos en representación residual,
- Tratamiento de los datos procedentes de un mismo convertidor vectorial, en paralelo y en representación residual, para la formación de un haz en modo de recepción o la señal de excitación de un elemento radiante de la antena en modo de emisión,
- 15 - Conversión inversa de los datos de un formato en representación residual hacia un formato de datos deseado.

20 Unos estudios detallados de arquitecturas físicas de antena según la invención han permitido demostrar una gran reducción de la complejidad, del número de circuitos integrados necesarios, y de la disipación global, con relación a las soluciones existentes. La implementación de funciones FHC según la invención permite por tanto satisfacer unas necesidades exigentes en cantidad de haces, de elementos radiantes y de banda tratada, optimizando la complejidad material y la disipación. La invención se aplica a cualquier antena FHC para las aplicaciones espaciales como se ha descrito en el modo de implementación preferente pero igualmente cualquier aplicación integrada sujeta a limitaciones de complejidad y de disipación, principalmente los satélites de telecomunicación.

REIVINDICACIONES

1. Equipo de tratamiento de datos de al menos una señal digital para un sistema de emisión y/o recepción de señales de RF de tipo antena activa que incluye una pluralidad de elementos radiantes y que puede formar al menos un haz por cálculo por medio de una pluralidad de combinadores (501), **caracterizado porque** incluye un menos dos redes de combinadores (501-503 y 511-513), al menos un convertidor (30) vectorial y un convertidor (40) inverso,
- 5 el convertidor (30) vectorial comprende una vía (71) de entrada y al menos dos vías (721, 722) de salida y es adecuado para convertir un dato digital entero de la señal digital presente en la vía (71) de entrada en una representación vectorial por al menos dos componentes en aritmética residual sobre las vías (721, 722) de salida, estando dedicada una vía de salida a cada componente,
- 10 el convertidor (40) inverso comprende al menos dos vías (91, 92) de entrada y una vía (93) de salida, y es adecuado para convertir el dato en representación vectorial definido por al menos dos componentes en aritmética residual presentes en las vías de entrada en un dato digital entero sobre la vía de salida, estando dedicada una vía de entrada a cada componente,
- 15 disponiéndose el convertidor vectorial y el convertidor inverso de un lado y otro de las redes de combinadores y disponiéndose las redes de combinadores de manera que traten en paralelo dichos componentes en aritmética residual para formar el haz en modo de recepción o la señal de excitación del elemento radiante de la antena en modo de emisión, realizando una red de combinadores los tratamientos asociados a un componente específico en aritmética residual, implantándose un subconjunto de dichos componentes de un combinador en un equipo digital y/o tarjeta y/o circuito de tipo redes de combinadores.
2. Equipo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** un primer componente (722) en aritmética residual se representa en un formato entero sobre una primera dinámica y un segundo componente (721) en aritmética residual se representa en un formato entero sobre una segunda dinámica.
3. Equipo según la reivindicación 2, **caracterizado porque** el dato numérico entero presente en la entrada (71) de un convertidor (30) vectorial se representa en un formato entero sobre una dinámica igual a m y **porque** la dinámica de un componente (722) en aritmética residual representada en un formato entero es estrictamente inferior a m .
- 25 4. Equipo según la reivindicación 3, **caracterizado porque** una red de combinadores trata el primer componente (721) independientemente del segundo componente (722).
5. Equipo según la reivindicación 4, **caracterizado porque** incluye, para la formación de un haz, un número de redes de combinadores independientes igual al número de componentes en aritmética residual procedentes de un convertidor vectorial.
- 30 6. Equipo según la reivindicación 5, **caracterizado porque** comprende al menos tres tipos de medios de implementación, dedicándose un primer medio de implementación a la integración de redes de combinadores, dedicándose un segundo medio de implementación a la integración de los convertidores vectoriales y dedicándose un tercer medio de implementación a la integración de los convertidores inversos.
- 35 7. Equipo según la reivindicación 5, **caracterizado porque** comprende al menos un tipo de medio de implementación que integra los convertidores vectoriales, los convertidores inversos y las redes de combinadores que pueden tratar el primer y el segundo componente.
8. Equipo según la reivindicación 5 para una antena que puede formar al menos dos haces a partir de n elementos radiantes, siendo común al menos un elemento (252) radiante para la formación de dichos haces, **caracterizado porque** los combinadores (501, 504) que tratan el mismo componente (722) de los datos de señales digitales procedentes de dicho elemento radiante común a dichos haces se implementan en un mismo componente electrónico.
- 40 9. Equipo según la reivindicación 5 que incluye igualmente unos medios de tratamiento de señales (610) digitales, principalmente unos medios para multiplexar señales digitales en banda estrecha y/o unos medios para demultiplexar una señal digital en banda ancha, que pueden disponerse corriente arriba o corriente abajo de las redes de combinadores (701, 702) en la cadena de tratamiento de los datos formada por las redes de combinadores y dichos medios de tratamiento, **caracterizado porque** los convertidores vectoriales se disponen corriente arriba de los medios de tratamiento de señales digitales y los convertidores inversos corriente abajo de los medios de tratamiento de señales digitales, tratando los medios de tratamiento de señales digitales los datos en aritmética residual.
- 45 50 10. Sistema de emisión y/o de recepción de señales de RF, denominado antena activa multihaces, **caracterizado porque** incluye un equipo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
11. Satélite de telecomunicación, **caracterizado porque** incluye un sistema según la reivindicación 10.

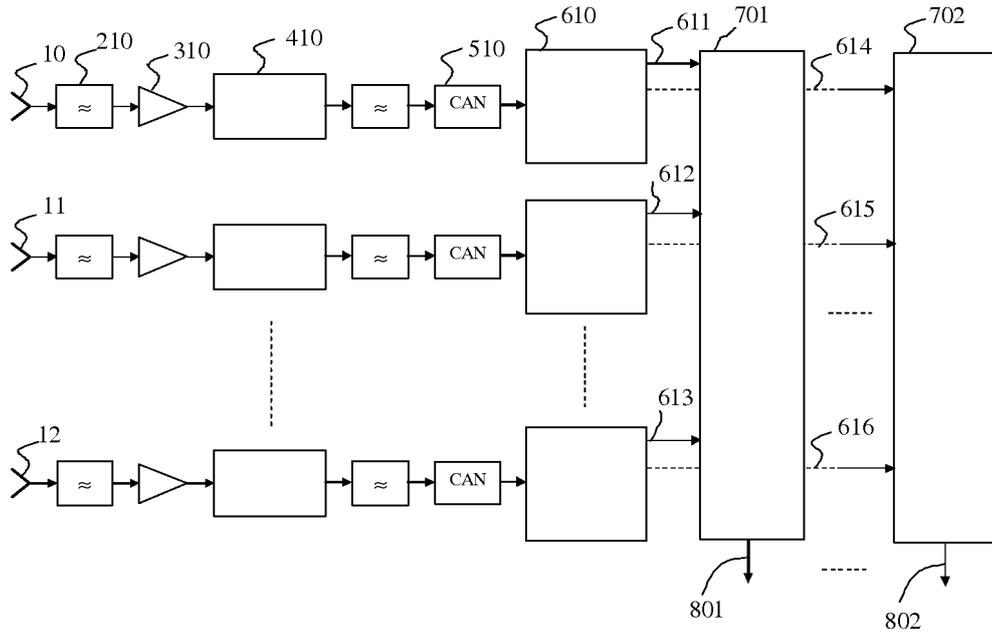


FIG. 1

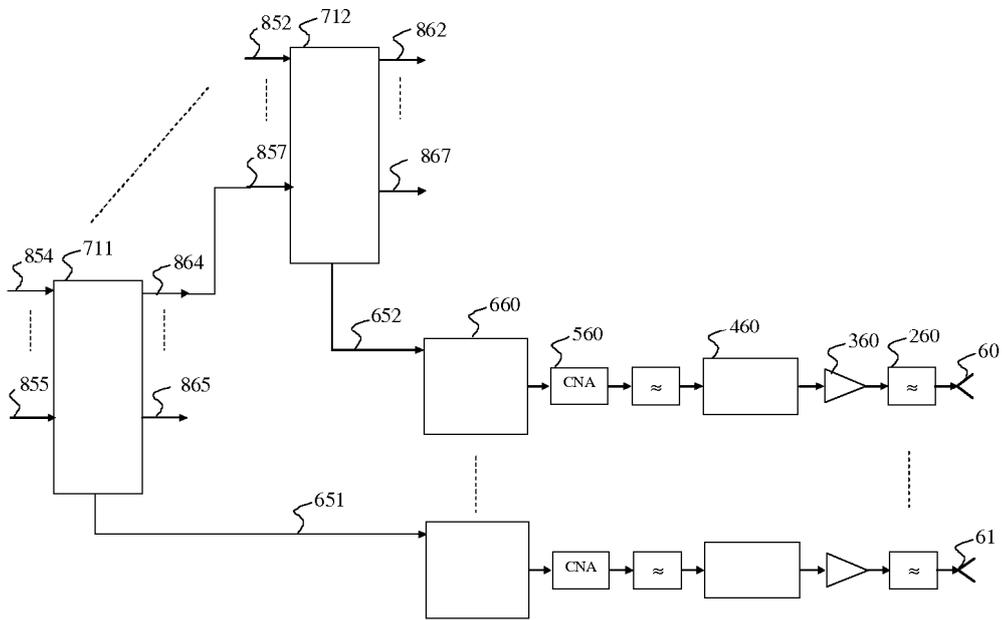


FIG. 2

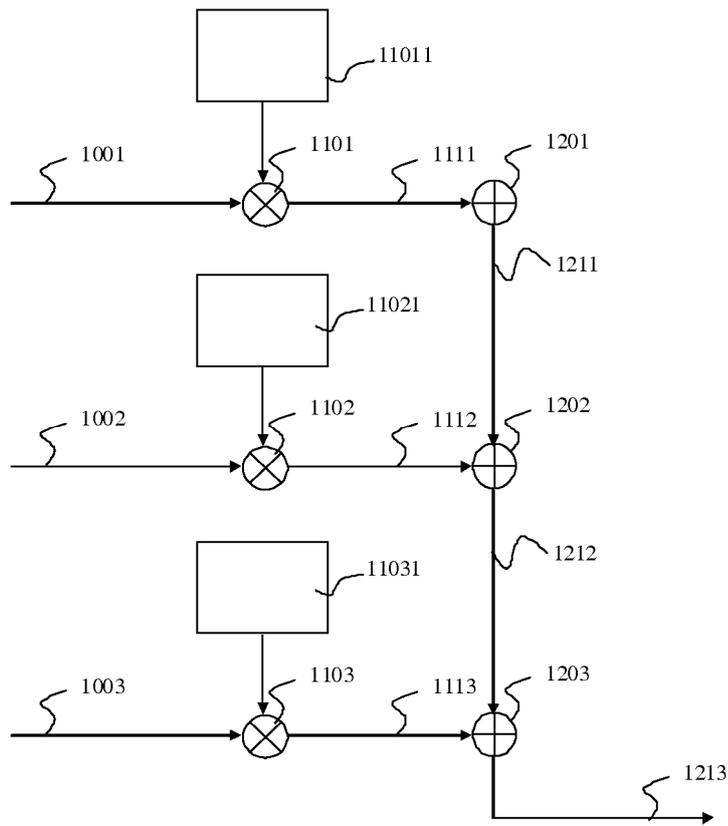


FIG. 3

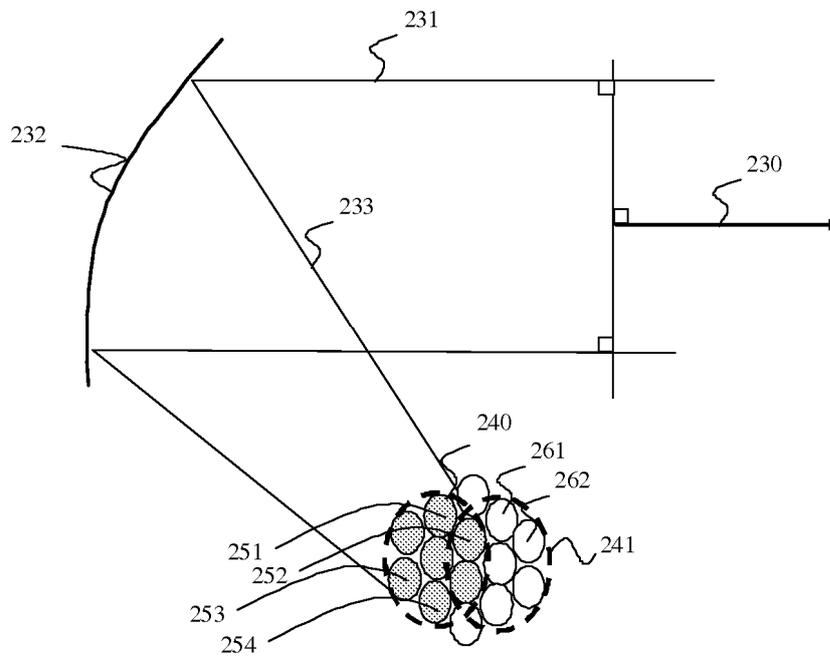


FIG. 4

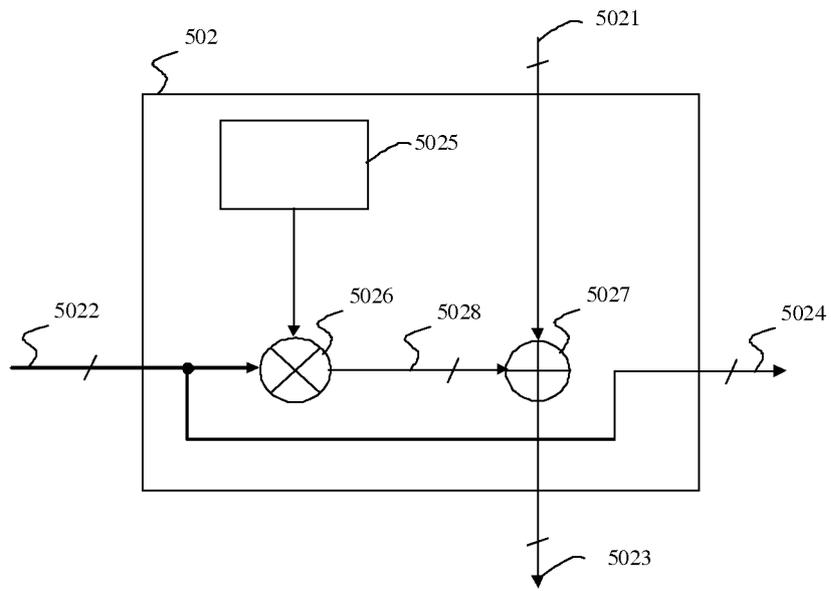


FIG. 5

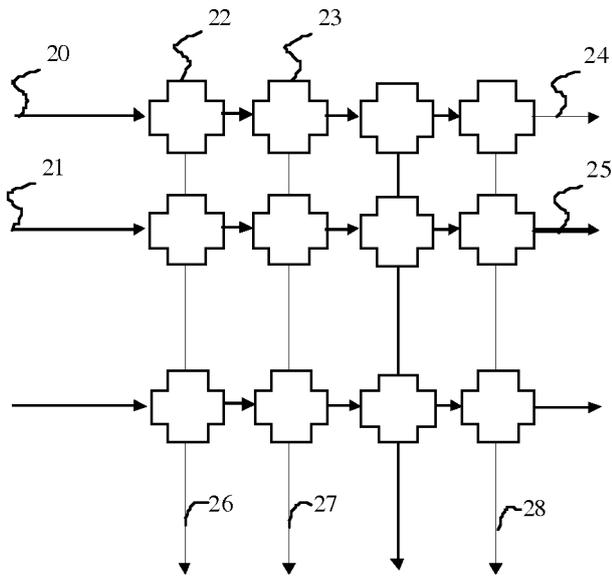


FIG. 6

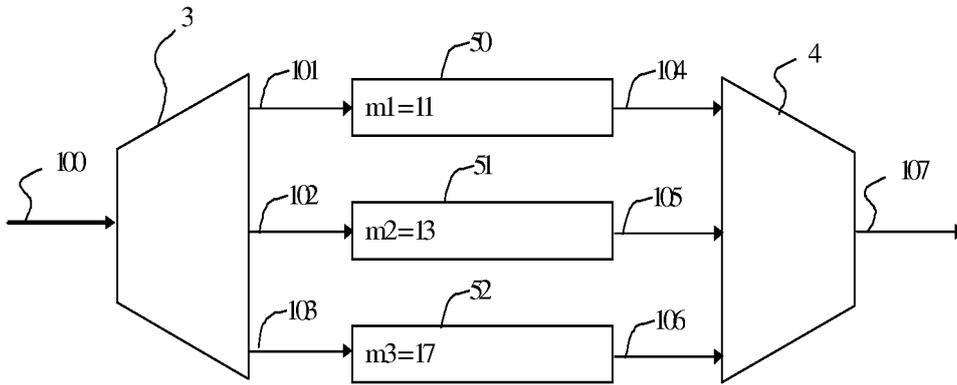


FIG. 7

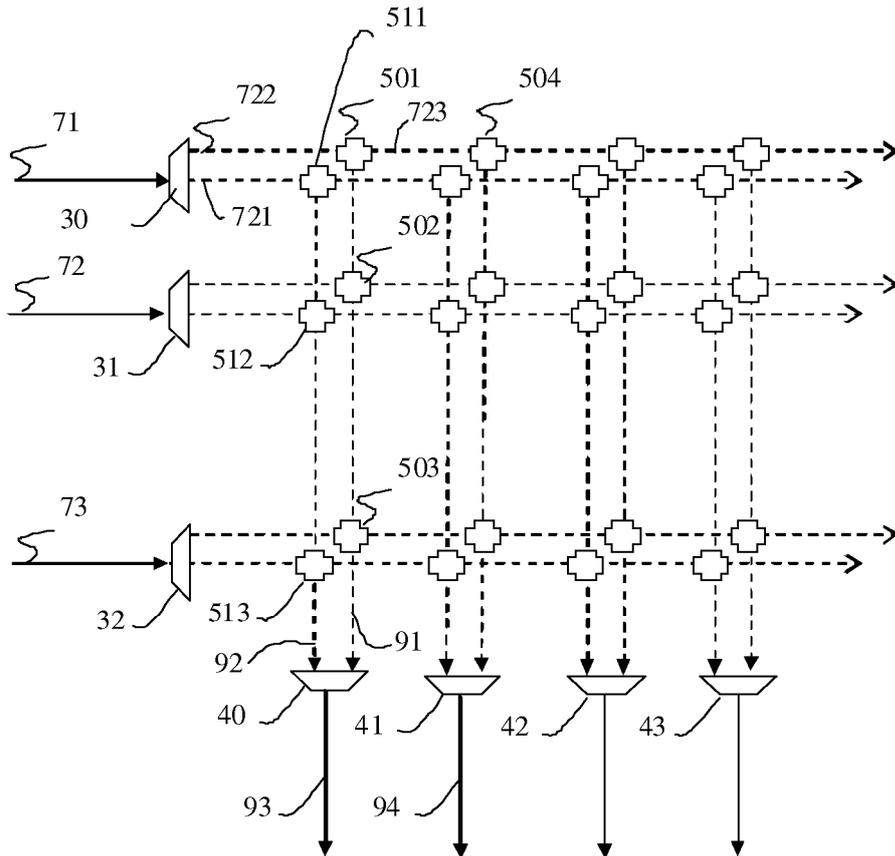


FIG. 8

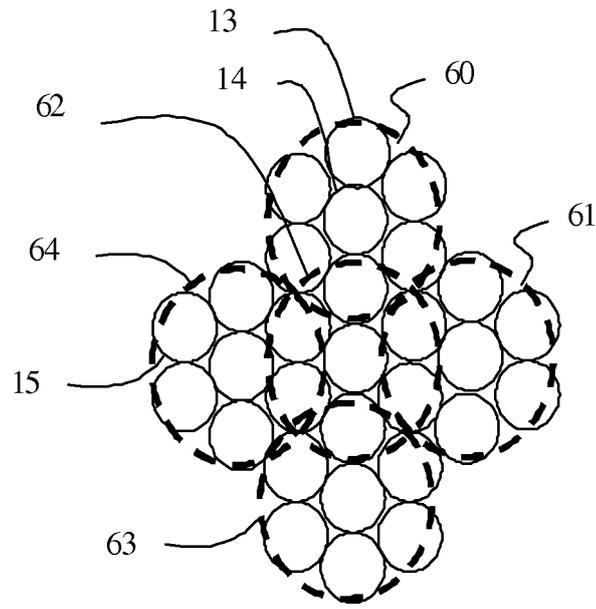


FIG. 9