

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 160**

51 Int. Cl.:

H04B 1/12 (2006.01)

H01Q 3/26 (2006.01)

H04B 7/08 (2006.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.01.2016 PCT/FR2016/050162**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2016 WO16124835**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2016 E 16707838 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 3254380**

54 Título: **Procedimiento y sistema de supresión de una señal parásita recibida por una carga útil de un satélite**

30 Prioridad:

02.02.2015 FR 1550769

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

30.11.2018

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (100.0%)
31 rue des Cosmonautes, ZI du Palays
31402 Toulouse Cedex 4, FR**

72 Inventor/es:

**PEZET, BERNARD y
JACQUEY, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 692 160 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

Procedimiento y sistema de supresión de una señal parásita recibida por una carga útil de un satélite

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de supresión de una señal parásita recibida con una señal útil por una red de antenas elementales de una carga útil de un satélite, en particular un satélite de telecomunicaciones.

Estado de la técnica

10 De manera convencional, un satélite de telecomunicaciones comprende una carga útil equipada con medios adaptados para recibir señales útiles emitidas por emisores terrestres, para su retransmisión a receptores terrestres, posiblemente a través de otros satélites.

15 No es raro que un satélite de telecomunicaciones reciba, además de las señales útiles, una o varias señales parásitas que perturban la recepción de dichas señales útiles. Por ejemplo, una señal parásita puede corresponder a una señal emitida por un generador de interferencias intencional, o a una señal emitida por un generador de interferencias involuntario que pertenece, por ejemplo, a un sistema de telecomunicaciones terrestres que utiliza las mismas bandas de frecuencia que el satélite de telecomunicaciones, o a una señal emitida por un emisor terrestre mal indicado de un sistema de telecomunicaciones por satélite vecino.

Para suprimir una señal parásita recibida con una o más señales útiles, es conocido equipar la carga útil del satélite de telecomunicaciones de una red de antenas de recepción elementales, y poner en práctica técnicas digitales de formación de haces (véase, por ejemplo, la solicitud de patente US 2013/101073).

20 De manera conocida, tales técnicas digitales permiten, después de haber digitalizado las señales elementales emitidas desde diferentes antenas elementales, calcular los haces digitales correspondientes a diferentes diagramas de radiación de la red de antenas elementales. De hecho, combinando entre sí las señales elementales digitalizadas se obtiene una señal, denominada "haz digital", que corresponde a la señal recibida con un diagrama de radiación correspondiente a la combinación de los diagramas de radiación respectivos de las antenas elementales.
25 Modificando los coeficientes de ponderación (complejos) de las señales digitalizadas elementales, se modifica el diagrama de radiación de la red de antenas elementales.

30 De este modo, es conocido calcular, a partir de las señales elementales digitalizadas, un haz digital espacialmente selectivo que presenta una ganancia multiplicativa sustancialmente nula en la dirección de llegada de la señal parásita en dicha red de antenas elementales. En otras palabras, dicho haz digital es "ciego" en dicha dirección de llegada de la señal parásita.

35 Sin embargo, dichas técnicas digitales se pueden revelar inoperativas cuando la señal parásita es muy potente. De hecho, en ese caso, la presencia de la señal parásita en las señales elementales puede llevar a una saturación de ciertos equipos analógicos (amplificador de bajo nivel de ruido, mezclador, etc.) de las cadenas de recepción de la carga útil, y/o a una saturación de los convertidores analógicos / digitales, lo que conlleva una degradación de la calidad de las señales elementales digitalizadas. Dicha degradación de la calidad no puede ser compensada por la formación de los haces digitales.

40 Con el fin de limitar los riesgos de saturación, la solicitud de patente internacional WO 2011/161198 (véase también la solicitud de patente FR 2697116) propone dotar a la carga útil del satélite de una red analógica de formación de haces. Dicha red analógica de formación de haces (conocida por el nombre de "red de formación de haces" (BeamForming Network o BFN en la literatura anglosajona) funciona de acuerdo con el mismo principio general que las técnicas digitales de formación de haces, a saber, el de combinar de manera controlada las señales elementales emitidas desde las antenas elementales. La principal diferencia reside en el hecho de que la red analógica de formación de haces funciona sobre las señales elementales analógicas. Dicha red analógica de formación de haces comprende, de manera conocida, equipos análogos que permiten controlar la manera de combinar entre sí las
45 señales elementales analógicas, tales como atenuadores variables y cambiadores de fase variables.

50 En la solicitud de patente internacional WO 2011/161198, la red analógica de formación de haces forma varios haces, llamados "haces analógicos", correspondientes a diferentes diagramas de radiación de la red de antenas elementales. Cada haz analógico formado presenta una ganancia sustancialmente nula en la dirección de llegada de la señal parásita. A continuación, los haces analógicos son combinados para formar un haz digital que atiende una zona de cobertura predefinida en la superficie de la Tierra.

55 De este modo, la red analógica de formación de haces es implementada para suprimir la señal parásita en cada haz analógico, evitando de este modo, al mismo tiempo, cualquier saturación de los equipos analógicos. A continuación, se implementan técnicas de formación de haces digitales para obtener, a partir de los haces analógicos en los que la señal parásita ha sido suprimida, un haz digital que permite recibir señales útiles emitidas desde la zona de cobertura. Debido a que el haz que atiende la zona de cobertura está formado digitalmente, se comprende que los

haces analógicos pueden ser optimizados para la supresión de la señal parásita, sin tener que cubrir individualmente la totalidad de dicha zona de cobertura en la superficie de la Tierra.

No obstante, la solución descrita por la solicitud de patente internacional WO 2011/161198 presenta varias limitaciones.

- 5 En primer lugar, esta solución es sensible a los defectos de calibración de los equipos analógicos, incluidas las antenas elementales, de manera que los haces analógicos formados presentan en la práctica diagramas de radiación respectivos diferentes de los teóricamente formados.

Además, los rendimientos de las redes analógicas de formación de haces, en términos de rechazo de señales parásitas, son, en general, limitados, por el hecho, en particular, de que los atenuadores variables y los cambiadores de fase variables presentan precisiones y resoluciones limitadas. Esto es particularmente perjudicial para la cobertura de las señales útiles que se encuentran afectadas, pero también en el caso de que varias señales parásitas de diferentes direcciones de llegada respectivas deben ser suprimidas por la red analógica de formación de haces.

Compendio de la invención

15 El objetivo de la presente invención es remediar en todo o en parte las limitaciones de las soluciones de la técnica anterior, en particular las expuestas anteriormente, proponiendo una solución que permita al mismo tiempo reducir o evitar los problemas de saturación de los equipos analógicos, a la vez que asegura una supresión eficaz de una o de varias señales parásitas al tiempo que limita el impacto de esta supresión sobre la cobertura de señales útiles.

A este fin, y de acuerdo con un primer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de supresión de una señal parásita recibida con una señal útil por una red de antenas elementales de una carga útil de un satélite, comprendiendo dicho procedimiento de supresión una etapa de formación analógica de haces, los denominados "haces analógicos", por medio de una red analógica de formación de haces y a partir de señales elementales proporcionadas por dichas antenas elementales, y una etapa de formación digital de un haz, el denominado "haz digital". Además, la etapa de formación analógica comprende:

25 - la formación de al menos un haz analógico, denominado "haz útil", para el cual la ganancia de la red de antenas elementales en la dirección de llegada de la señal útil es mayor que la ganancia en la dirección de llegada de la señal parásita,

- la formación de al menos un haz analógico, denominado "haz auxiliar", en el cual la ganancia de la red de antenas elementales en la dirección de llegada de la señal parásita es mayor que la ganancia en la dirección de llegada de la señal útil,

siendo obtenido el haz digital, durante la etapa de formación digital, mediante la combinación de señales digitales obtenidas mediante la digitalización, al menos, de dicho haz auxiliar y dicho haz útil, por medio de coeficientes de ponderación determinados, de manera que se suprima la señal parásita en dicho haz digital.

De este modo, el procedimiento de supresión de señal parásita comprende etapas sucesivas de formación de haces: una etapa de formación analógica, por medio de una red analógica de formación de haces, y una etapa de formación digital poniendo en práctica técnicas digitales de formación de haces.

40 Durante la etapa de formación analógica, se forma un haz útil que se dirige a atenuar la señal parásita con respecto a la señal útil. Dicho haz útil permite, por consiguiente, reducir los riesgos de saturación, mediante una atenuación más o menos importante de la señal parásita, mejorando a la vez la relación de señal a ruido más interferencia ("signal to noise plus interference ratio" o SNIR o en la literatura anglosajona) de la señal útil. En otras palabras, el haz útil favorece la recepción de la señal útil.

Además, se forma asimismo un haz auxiliar que se dirige a favorecer la recepción de la señal parásita, atenuando la señal útil con respecto a la señal parásita. Dicho haz auxiliar permite, por consiguiente, de manera análoga, reducir los riesgos de saturación, mediante una atenuación más o menos importante de la señal útil, a la vez que mejora la SNIR de dicha señal parásita (siendo en este caso la señal útil considerada como una interferencia frente a la señal parásita). Dado que los riesgos de saturación están ligados principalmente a la señal parásita, la ganancia general del haz auxiliar puede ser además controlada para limitar los riesgos de saturación sin tener que preocuparse del impacto sobre la señal útil, cuya recepción está garantizada por el haz útil.

De este modo, la etapa de formación analógica está dirigida principalmente a limitar los riesgos de saturación de una manera que permita, no obstante, garantizar la recepción simultánea de la señal útil y de la señal parásita, respectivamente en el haz útil y en el haz auxiliar.

Es en el curso de la etapa de formación digital cuando se realiza realmente la supresión total o parcial de la señal parásita, poniendo en práctica técnicas digitales de formación de haces que ofrecen mejores rendimientos que las redes analógicas de formación de haces. No obstante, la red analógica de formación de haces contribuye a mejorar

5 los rendimientos de las técnicas digitales de formación de haces. En primer lugar, tal como se indicó anteriormente, los haces auxiliar y útil están formados de tal manera que se reducen los riesgos de saturación. Además, los haces auxiliar y útil están formados de tal manera que mejoren las SNIR respectivas de la señal parásita y de la señal útil, de manera que los coeficientes de ponderación que permiten suprimir la señal parásita son estimados con una mayor precisión.

En modos de realización particulares, el procedimiento de supresión de señal parásita puede comprender además una o varias de las características siguientes, tomadas de manera aislada o en cualquier combinación técnicamente posible.

10 En modos de realización particulares, la red analógica de formación de haces se controla, durante la etapa de formación analógica, para formar haces analógicos que proporcionan señales de potencias respectivas inferiores a una potencia máxima predefinida.

Dichas disposiciones permiten, mediante una elección adecuada de la potencia máxima predefinida, evitar la saturación de los diferentes equipos analógicos de las cadenas de recepción de la carga útil del satélite.

15 En modos de realización particulares, cuando la red de antenas elementales recibe al menos dos señales parásitas, la etapa de formación analógica comprende la formación de al menos dos haces auxiliares en los que las ganancias de la red de antenas elementales en las direcciones de llegada respectivas de dichas al menos dos señales parásitas son superiores a la ganancia en la dirección de llegada de la señal útil.

20 En modos de realización particulares, cuando la red de antenas elementales recibe al menos dos señales útiles, la etapa de formación analógica comprende la formación de al menos dos haces útiles en los que las ganancias de la red de antenas elementales en las direcciones de llegada respectivas de dichas al menos dos señales útiles son superiores a la ganancia en la dirección de llegada de la señal parásita.

En modos de realización particulares, cuando las señales útiles están organizadas en diferentes canales multiplexados en frecuencias, la formación de formación digital comprende las etapas de:

- 25 - demultiplexación de los canales a partir de las señales digitales obtenidas mediante la digitalización de los haces analógicos,
- determinación de coeficientes de ponderación para cada canal,
- formación, para cada canal, de un haz digital por medio de los coeficientes de ponderación determinados para dicho canal.

30 En modos de realización particulares, la etapa de demultiplexación comprende un cálculo del espectro de frecuencia para cada haz analógico digitalizado mediante transformada de Fourier.

En modos de realización particulares, la etapa de formación digital comprende una etapa de multiplexación de los haces digitales respectivos de los diferentes canales.

35 En modos de realización particulares, cuando los haces digitales están calculados en el dominio de la frecuencia, la etapa de multiplexación comprende la combinación en el dominio de la frecuencia de los espectros de frecuencia respectivos de los haces digitales, y el cálculo de una representación en el tiempo del resultado de la combinación mediante transformada de Fourier inversa.

40 Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un producto de programa informático que comprende un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por un procesador, configuran dicho procesador para poner en práctica un procedimiento de supresión de señal parásita según uno cualquiera de los modos de realización de la invención.

Según un tercer aspecto, la presente invención se refiere a una carga útil de satélite que comprende una red de antenas elementales y una red analógica de formación de haces, así como medios configurados para poner en práctica un procedimiento de supresión de señal parásita según uno cualquiera de los modos de realización de la invención.

45 Según un cuarto aspecto, la presente invención se refiere a un sistema satelital que comprende un satélite y al menos una estación terrestre, comprendiendo dicho satélite una carga útil que comprende una red de antenas elementales y una red analógica de formación de haces. Además, el sistema satelital comprende medios configurados para poner en práctica un procedimiento de supresión de señal parásita según uno cualquiera de los modos de realización de la invención.

50 **Presentación de las figuras**

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción siguiente, proporcionada a título de ejemplo en absoluto limitativo, y realizada haciendo referencia a las figuras que representan:

- figura 1: una representación esquemática de un sistema de telecomunicaciones por satélite,
- figura 2: una representación esquemática de un modo preferido de realización de una carga útil de un satélite,
- figura 3: un diagrama que representa las etapas principales de un procedimiento de supresión de señal parásita,
- figura 4: un diagrama que representa un modo preferido de realización de una etapa de formación digital de haz del procedimiento de supresión de señal parásita.

En estas figuras, las referencias idénticas de una figura a otra designan elementos idénticos o análogos. Por razones de claridad, los elementos representados no lo están a escala, salvo indicación en sentido contrario.

Descripción detallada de modos de realización

La figura 1 representa esquemáticamente un sistema satelital que comprende un satélite 10 en órbita terrestre (GEO, LEO, MEO, etc.).

Tal como se muestra mediante la figura 1, el satélite 10 recibe una señal útil emitida por un terminal terrestre 20, y la retransmite con destino a una estación terrestre 30 o a otro terminal terrestre. De manera análoga, el satélite 10 puede recibir una señal útil de la estación terrestre 30, y retransmitirla con destino a un terminal terrestre 20.

En el ejemplo ilustrado, el satélite 10 recibe asimismo una señal parásita emitida por un emisor parásito 40, por ejemplo, un generador de interferencias intencional o un generador de interferencias involuntario.

Tal como se indicó anteriormente, la señal parásita interfiere en la recepción de la señal útil, y la presente invención se refiere a la supresión de la señal parásita en las señales recibidas por el satélite 10.

La figura 2 representa esquemáticamente un modo preferido de realización de una carga útil 100 del satélite 10. Tal como se ilustra mediante la figura 2, la carga útil comprende una red 110 de antenas elementales. En el ejemplo ilustrado mediante la figura 2, la red 110 comprende N antenas elementales $A_1 - A_N$ que proporcionan a la salida N señales elementales.

La carga útil 100 comprende asimismo una red 120 analógica de formación de haces (conocida con el nombre de "beamforming network" o BFN en la literatura anglosajona) adecuada para formar haces, los llamados "haces analógicos" a partir de las señales elementales emitidas respectivamente desde las antenas elementales $A_1 - A_N$.

En el ejemplo ilustrado mediante la figura 2, la red 120 analógica de formación de haces comprende N entradas, conectadas respectivamente a las antenas elementales $A_1 - A_N$, y M salidas. En otras palabras, la red 120 analógica de formación de haces está adaptada para formar M haces analógicos a partir de las N señales elementales.

A lo largo de la descripción, se considera de manera no limitativa que el número M de salidas es inferior al número N de antenas elementales $A_1 - A_N$, a fin de reducir el número de haces analógicos que deben ser digitalizados. Sin embargo, según otros ejemplos, nada impide considerar un número M mayor o igual que N.

Dicha red 120 analógica de formación de haces se considera conocida por los expertos en la técnica, y comprende en particular varios atenuadores variables y varios cambiadores de fase variables (no representados en las figuras), que permiten formar M combinaciones diferentes de las N señales elementales, para formar los M haces analógicos.

En el ejemplo ilustrado mediante la figura 2, las M salidas de la red 120 analógica de formación de haces están conectadas a un dispositivo 130 informático mediante receptores $R_1 - R_M$ respectivos. Los receptores $R_1 - R_M$ comprenden equipos analógicos (no representados en las figuras), por ejemplo, osciladores locales, mezcladores y filtros analógicos que permiten trasladar en frecuencia, hacia frecuencias más bajas, los haces analógicos proporcionados por la red 120 analógica de formación de haces.

Es ventajoso colocar los mezcladores aguas abajo de la red 120 analógica de formación de haces con respecto a las antenas elementales $A_1 - A_N$. De hecho, los mezcladores son equipos analógicos sensibles, susceptibles de saturarse. Por lo tanto, es posible, disponiendo dichos mezcladores a la salida de la red 120 analógica de formación de haces, controlar mejor las señales que les son proporcionados a la entrada que si hubieran sido dispuestos directamente a la salida de las antenas elementales $A_1 - A_N$.

Preferentemente, y tal como se ilustra mediante la figura 2, las N entradas de la red 120 analógica de formación de haces están conectadas a las antenas elementales $A_1 - A_N$ a través de amplificadores de bajo ruido $L_1 - L_N$ respectivos. De hecho, es conocido que los amplificadores de bajo ruido deben ser colocados, preferentemente, lo más cerca posible de las antenas elementales $A_1 - A_N$ a fin de mejorar la relación de señal a ruido de las señales elementales. Además, la red 120 analógica de formación de haces introduce diferentes pérdidas, en particular pérdidas de inserción y pérdidas por acoplamiento (para obtener M canales), de manera que es preferible que dicha red 120 analógica de formación de haces funcione sobre señales elementales previamente amplificadas.

5 El dispositivo 130 informático comprende, por ejemplo, medios de conversión de analógico / digital de los M haces analógicos a la salida de los receptores $R_1 - R_M$. El dispositivo 130 informático comprende, por ejemplo, asimismo, uno o varios procesadores y medios de almacenamiento (disco duro magnético, memoria electrónica, disco óptico, etc.) en el que se almacena un producto de programa informático, en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa a ejecutar para implementar a continuación las diferentes etapas de un procedimiento 50 de supresión de señal parásita. En una variante, el dispositivo 130 informático comprende uno o varios circuitos lógicos programables del tipo de FPGA, PLD, etc., y/o circuitos integrados especializados (ASIC) adaptados para implementar en todo o en parte dichas etapas del procedimiento 50 de supresión de señal parásita.

10 En otras palabras, el dispositivo 130 informático comprende un conjunto de medios configurados mediante software (producto de programa informático específico) y/o hardware (FPGA, PLD, ASIC, etc.) para implementar las diferentes etapas del procedimiento 50 de supresión de señal parásita.

Tal como se ilustra mediante la figura 2, el dispositivo 130 informático comprende principalmente dos módulos funcionales:

- un módulo 131 de procesamiento digital,
- 15 - un módulo 132 de control.

El módulo 131 de procesamiento de procesamiento digital está configurado para formar uno o varios haces, denominados "haces digitales", a partir de las señales digitales obtenidas mediante la digitalización de los M haces analógicos.

20 El módulo 132 de control está configurado para controlar los atenuadores variables y los cambiadores de fase variables de la red 120 analógica de formación de haces, a fin de controlar los haces analógicos formados (es decir, los diagramas de radiación respectivos de dichos haces analógicos) mediante el ajuste de las atenuaciones y los cambios de fase respectivos de los atenuadores variables y de los cambiadores de fase variables.

La figura 3 representa las etapas principales de un procedimiento 50 de supresión de señal parásita, que son:

- 25 - una etapa 51 de formación analógica de haces analógicos por medio de la red 120 analógica de formación de haces de control;
- una etapa 52 de formación digital de al menos un haz digital mediante el módulo 131 de procesamiento digital.

En una primera etapa, uno se coloca de manera no limitativa en el caso en el que la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$ recibe una señal parásita de un emisor parásito 40 y una señal útil de un terminal terrestre 20.

30 Durante la etapa 51 de formación analógica, la red 120 analógica de formación de haces está controlada, mediante el módulo 132 de control, para formar:

- al menos un haz analógico, denominado "haz útil", para el cual la ganancia de la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$ en la dirección de llegada de la señal útil es superior a la ganancia en la dirección de llegada de la señal parásita,
- 35 - al menos un haz analógico, denominado "haz auxiliar" en el cual la ganancia de la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$ en la dirección de llegada de la señal parásita es superior a la ganancia en la dirección de llegada de la señal útil.

40 De este modo, el haz útil está dirigido a favorecer la recepción de la señal útil mediante la atenuación de la señal parásita con respecto a la señal útil. El haz auxiliar está dirigido a favorecer la recepción de la señal parásita mediante la atenuación de la señal útil con respecto a la señal parásita. Gracias a esta atenuación (de la señal parásita en el haz útil y de la señal útil en el haz auxiliar) se reducen los riesgos de saturación de los receptores $R_1 - R_M$. Con el fin de garantizar que no se produzca ninguna saturación, el módulo 132 de control puede controlar ventajosamente la red 120 analógica de formación de haz para formar únicamente haces analógicos que proporcionen señales de potencias respectivas inferiores a una potencia máxima predefinida. Dicha potencia máxima predefinida es, por ejemplo, inferior a la potencia de saturación de los receptores $R_1 - R_M$ y de los medios de conversión analógica / digital.

45 La atenuación de la señal parásita con respecto a la señal útil (en el haz útil) y de la señal útil con respecto a la señal parásita (en el haz auxiliar) puede ser más o menos importante. Si las condiciones lo permiten, por ejemplo, si el número N de antenas elementales $A_1 - A_N$ y el número M de salidas de la red 120 analógica de formación de haces es muy superior al número total de señales recibidas, es decir, muy superior a dos en el caso de una sola señal parásita y de una sola señal útil, entonces es posible formar:

- 50 - un haz útil, que presenta teóricamente una ganancia multiplicativa sustancialmente nula en la dirección de llegada de la señal parásita, de tal manera que se maximice la SNIR de la señal útil,

- un haz auxiliar, que presenta teóricamente una ganancia multiplicativa sustancialmente nula en la dirección de llegada de la señal útil, de tal manera que se maximice la SNIR de la señal parásita.

5 Para formar el haz útil y el haz auxiliar, la etapa 51 de formación analógica comprende una estimación de la dirección de llegada de la señal parásita en la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$. La estimación de la dirección de llegada de la señal parásita (o del número de señales parásitas y de sus direcciones de llegada respectivas en el caso de varias señales parásitas) puede implementar cualquier procedimiento conocido por los expertos en la técnica y salirse del marco de la invención. Por ejemplo, si la posición en la superficie de la Tierra del emisor parásito 10 es conocida, se puede deducir la dirección de llegada de la señal parásita en la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$ en función, además, de la posición y de la altitud del satélite 10. Es asimismo posible, según otro ejemplo no limitativo, formar un haz analógico que barre la superficie de la Tierra para determinar la dirección que permite maximizar la potencia de la señal parásita recibida.

15 En general, la señal útil o las señales útiles son emitidas a partir de una zona de cobertura predefinida. Por consiguiente, no es forzosamente necesario estimar el número de señales útiles y sus direcciones de llegada respectivas. De hecho, el haz auxiliar puede ser optimizado para la recepción de la señal parásita a la vez que atenúa globalmente las señales útiles recibidas desde dicha zona de cobertura. Del mismo modo, el haz útil puede formarse para atender esta zona de cobertura de una manera global, sin tener que preocuparse por el número de señales útiles y de sus respectivas direcciones de llegada. Sin embargo, según otros ejemplos, nada excluye la estimación de la dirección de llegada de la señal útil (o el número de señales útiles y sus respectivas direcciones de llegada en el caso de varias señales útiles), por ejemplo, para formar un haz útil optimizado para la recepción de una señal útil en particular (y no para atender de manera global una zona de cobertura).

20 De manera general, el número y las direcciones de llegada de las diferentes señales pueden ser estimadas en el satélite 10 (por ejemplo, mediante el módulo 131 de procesamiento digital), y/o en una estación terrestre 30 y, a continuación, ser transmitidas a dicho satélite 10.

25 De manera similar, la determinación de señales de control de la red 120 analógica de formación de haces que permite obtener un haz analógico en el que la señal útil está atenuada con respecto a la señal parásita y un haz analógico en el que dicha señal parásita está atenuada con respecto a dicha señal útil, puede implementar cualquier procedimiento conocido por los expertos en la técnica. Las señales de control de la red 120 analógica de formación de haces pueden ser determinadas en el satélite 10 (por ejemplo, mediante el módulo 131 de procesamiento digital que las transmite al módulo 132 de control), y/o en una estación terrestre 30 del sistema satelital y, a continuación, ser transmitidas al módulo 132 de control de dicho satélite 10.

35 Es durante la etapa 52 de formación digital cuando se realiza realmente la supresión de la señal parásita, a fin de beneficiarse de los rendimientos de las técnicas digitales de formación de haces, que son mejores que las ofrecidas por las redes analógicas de formación de haces (que están limitadas, en particular, por los defectos de calibración de los equipos analógicos, y por las precisiones y resoluciones limitadas de los atenuadores variables y de los cambiadores de fase variables).

40 De este modo, el haz digital calculado mediante el módulo 131 de procesamiento digital está dirigido a suprimir la señal parásita para mantener solo la señal útil. Por "suprimir" la señal parásita se entiende formar un haz digital que presenta, en la dirección de llegada de dicha señal parásita, una atenuación de al menos 20 decibelios con respecto a la ganancia máxima del diagrama de radiación de dicho haz digital. A este fin, el módulo 131 de procesamiento digital determina los coeficientes de ponderación complejos apropiados, que se utilizan para combinar los haces analógicos digitalizados.

45 El cálculo de coeficientes de ponderación puede implementar cualquier procedimiento conocido por los expertos en la técnica. Los principales procedimientos conocidos efectúan, en general, un análisis estadístico de las señales consideradas, en este caso, los haces analógicos digitalizados. Por ejemplo, es posible estimar la matriz de covarianza de dichos haces analógicos digitalizados, y determinar los coeficientes de ponderación en función de la matriz inversa de dicha matriz de covarianza. No obstante, existen otros procedimientos matemáticos para determinar coeficientes de ponderación adecuados, que pueden ser utilizados asimismo en el marco de la invención.

50 De manera general, es ventajoso estimar los coeficientes de ponderación a partir de los haces analógicos digitalizados. En particular, el haz auxiliar y el haz útil, en lugar de estimarlos a partir de las señales elementales digitalizadas. En efecto, las SNIR respectivas de la señal parásita y de la señal útil son mejores en los haces auxiliar y útil que en las señales elementales, de manera que los coeficientes de ponderación que permiten suprimir la señal parásita son estimados con una mayor precisión. Además, el número de haces analógicos es en general inferior al número de señales elementales, de manera que la complejidad de cálculo, en particular del cálculo de la inversa de la matriz de covarianza, se reduce en gran medida. Además, las matrices de covarianza obtenidas de este modo están bien acondicionadas y son fáciles de invertir. Finalmente, estamos seguros de que el cálculo proporciona la señal útil, mientras que para numerosas técnicas puramente digitales no es forzosamente necesario distinguir una señal útil de una señal parásita (se deben utilizar por lo tanto otros medios).

En el caso en el que la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$ recibe varias señales parásitas y/o varias señales útiles, son posibles varias opciones para la etapa 51 de formación analógica.

5 Por ejemplo, es posible formar un haz útil para cada señal. útil y un haz auxiliar para cada señal parásita, si las condiciones lo permiten (el número N de antenas elementales y el número M de salidas de la red 120 analógica de formación de haces es mayor que el número total de señales recibidas (útil y parásita). Si es necesario, se forma preferentemente:

- para cada señal útil, un haz útil en el que la ganancia en la dirección de llegada de la señal útil es superior a cada una de las ganancias en las respectivas direcciones de llegada de las diferentes señales parásitas,

10 - para cada señal parásita, un haz auxiliar en el que la ganancia en la dirección de llegada de la señal parásita considerada es superior a cada una de las ganancias en las respectivas direcciones de llegada de las diferentes señales

15 Es asimismo posible, en particular cuando las condiciones no permiten formar un haz analógico por señal parásita o útil recibida, formar un haz útil que cubre varias señales útiles, por ejemplo, que atiende una zona de cobertura predefinida, en el que la totalidad o parte de las señales parásitas están atenuadas con respecto a las señales útiles consideradas.

De manera más general, no es necesario fijar a priori el número de haces analógicos dedicados a las señales útiles y el número de haces analógicos dedicados a las señales parásitas. La red 120 analógica de formación de haces que comprende M salidas, es posible formar M haces analógicos que comprenden cualquier combinación de un haz o haces útiles (al menos uno) y de un haz o haces auxiliares (al menos uno).

20 En el caso en el que la red 110 de antenas elementales $A_1 - A_N$ tiene más de una señal parásita y/o varias señales útiles, entonces es posible, durante la etapa 52 de formación digital, formar varios haces digitales, por ejemplo, un haz digital para cada señal útil. Es asimismo posible formar varios haces digitales en el caso de que deban atender varias zonas de cobertura distintas, por ejemplo, un haz digital por área de cobertura atendida.

25 La figura 4 representa esquemáticamente un modo de realización preferido de la etapa 52 de formación digital, en el caso en que las señales útiles están organizadas en diferentes canales multiplexados en frecuencias. Por ejemplo, los diferentes canales ocupan subbandas de frecuencias adyacentes en el interior de una banda de frecuencia, denominada "banda de multiplexación BM".

Tal como se ilustra en la figura 4, la etapa 52 de formación digital comprende ventajosamente, en dicho caso, etapas de:

30 - 520 demultiplexación de los canales a partir de las señales digitales obtenidas mediante digitalización de haces analógicos,

- 521 determinación de coeficientes de ponderación para cada canal,

- 522 formación, para cada canal, de un haz digital por medio de los coeficientes de ponderación determinados.

35 En efecto, se pueden obtener mejores rendimientos en términos de rechazo de las señales parásitas situándolas al nivel del canal, es decir al nivel de cada subbanda de frecuencia, en lugar de mediante procesamiento en general, de la banda de multiplexación BM.

40 En particular, la o las señales parásitas pueden no perturbar más que ciertos canales. En tal caso, cada haz digital calculado para un canal perturbado tiene preferentemente una atenuación importante en la dirección de llegada de cada señal parásita en el canal considerado. En cambio, para un canal no perturbado, es decir, un canal en el que no hay ninguna señal parásita, el haz digital puede ser optimizado para la recepción de las señales útiles. Para un canal no perturbado, el haz digital puede corresponder por ejemplo a un haz útil digitalizado en el interior de este canal, o puede ser calculado a fin de optimizar otro criterio que no sea el del rechazo espacial de las señales parásitas.

45 La etapa 520 de demultiplexación está dirigida por consiguiente a separar los diferentes canales de la banda de multiplexación BM, a fin de poder formar un haz digital para cada canal de dicha banda de multiplexación BM.

50 La separación de los diferentes canales se realiza preferentemente en el dominio de frecuencia, calculando, por ejemplo, mediante una transformada de Fourier, un espectro de frecuencia de cada haz analógico digitalizado en la banda de multiplexación BM. Nada excluye, sin embargo, la separación de los diferentes canales en el dominio del tiempo, por ejemplo, mediante filtros temporales de paso de banda asociados respectivamente a los diferentes canales.

En modos de realización particulares, y tal como se ilustra mediante la figura 4, la etapa 52 de formación digital comprende una etapa 523 de multiplexación de los haces digitales respectivos de los diferentes canales, para obtener una señal representativa de las diferentes señales útiles en toda la banda de multiplexación BM. En el caso

en el que los haces digitales están calculados en el dominio de la frecuencia, la etapa 520 de multiplexación comprende preferentemente la combinación en el dominio de la frecuencia de los espectros de frecuencia respectivos de dichos haces digitales, y el cálculo de una representación temporal del resultado de dicha combinación, por ejemplo, mediante la transformada inversa de Fourier.

- 5 De manera más general, se debe observar que los modos de implementación y de realización considerados anteriormente se han descrito como ejemplos no limitativos y que, en consecuencia, se pueden idear otras variantes.

En particular, la invención se ha descrito considerando que la etapa 51 de formación analógica y la etapa 52 de formación digital fueron ejecutadas principalmente por la carga útil 100 del satélite 10. Nada, sin embargo, excluye, según otros ejemplos, tener ciertas funciones implementadas en el terreno, por ejemplo, por una misma estación terrestre 30.

Por ejemplo, el módulo 131 de procesamiento digital, que calcula los haces digitales a partir de los haces analógicos digitalizados puede estar integrado en una estación terrestre 30. Si es necesario, el módulo 131 de procesamiento digital recibe dichos haces analógicos, digitalizados o no, de la carga útil 100 del satélite 10.

La propia red 120 analógica de formación de haces está necesariamente a bordo del satélite 10, así como el módulo 132 de control que controla los atenuadores variables y los cambiadores de fase variables a partir de las señales de control recibidas. En cambio, y tal como se ha indicado anteriormente, las señales de control pueden ser determinadas por la carga útil 100 del satélite 10, o ser determinadas en tierra y transmitidas a dicha carga útil 100 para ser utilizadas allí por el módulo 132 de control. Asimismo, se puede considerar soportar ambos modos (señales de control que pueden ser determinadas a bordo o en tierra), a fin de poder elegir realizar estas operaciones a bordo o en tierra, y mejorar de este modo la flexibilidad de la solución y proporcionar una flexibilidad adicional con respecto a los sistemas satelitales que están obligados a funcionar en uno u otro de estos modos.

La descripción anterior ilustra claramente que, por sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención consigue los objetivos que se había fijado. En particular, la invención se basa, en última instancia, en técnicas digitales de formación de haces para suprimir señales parásitas, las cuales son más eficientes que las técnicas analógicas. En cambio, se forman haces analógicos para limitar los riesgos de saturación de los equipos analógicos y para mejorar la SNIR a la vez de las señales útiles y de las señales parásitas. De este modo, los rendimientos de las técnicas digitales de formación de haces, aplicadas sobre estos haces analógicos se mejoran aún más desde un punto de vista de precisión y robustez.

La invención descrita anteriormente es aplicable a señales útiles y parásitas que pueden haber sido emitidas por terminales situados bien en tierra, o bien a una cierta altitud sobre la superficie del suelo (avión, dron, globo, satélite). Además, los terminales pueden ser fijos o móviles (coche, avión, dron, globo, tren, barco), y ser utilizados durante un desplazamiento o entre dos desplazamientos, etc. Es asimismo posible adaptarse a emisores parásitos en desplazamiento mediante la actualización de manera recurrente de las señales de control (para la formación de los haces analógicos y/o los coeficientes de ponderación (para la formación de los haces digitales). La invención descrita, dado que permite la autoadaptación a diferentes señales parásitas, ofrece una solución robusta de cara a escenarios muy diversos de generación de interferencias: generadores de interferencias aislados o múltiples (agrupados o dispersos, fijos o móviles) y que tienen diversas características de generación de interferencias (fija o variable en frecuencia y en tiempo).

La invención descrita anteriormente puede ser utilizada en cualquier banda de frecuencias, se pueden citar como ejemplos las bandas utilizadas convencionalmente por los sistemas de telecomunicaciones por satélite, tales como: C, L, S, X, Ku, Ka, Q/V. De hecho, el módulo 131 de procesamiento digital que funciona en la banda base, trata de adaptar las cadenas de recepción para cambiar la banda de frecuencias considerada. Se debe observar que cuanto más bajas son las bandas de frecuencia utilizadas y más los medios, necesarios para discriminar espacialmente la señal útil y la señal parásita, son engorrosos.

La invención descrita anteriormente es eficaz para proteger de las interferencias o de las generaciones de interferencias a los sistemas de comunicación de radio por satélite que funcionan en diferentes bandas de frecuencias y que efectúan misiones civiles y militares o una combinación de ambas. Las comunicaciones que deben ser protegidas pueden incluir cualquier tipo de contenido digital o analógico susceptible de ser intercambiado con un satélite terminal (intercambio de documentos, conversaciones telefónicas, datos de fax, datos de los resultados de la consulta de páginas web, transmisión en tiempo real (streaming) de audio o de vídeo, etc.),

La utilización de la invención puede permitir, asimismo:

- proteger los intercambios de datos entre satélites de interferencias o de generaciones de interferencias,
- reutilizar la totalidad o una parte del espectro de otro sistema, aun tolerando interferencias que genera y que proceden de tierra,
- 55 - permitir localmente la reutilización por otro sistema (satelital o no) de la totalidad o parte del espectro del sistema satelital considerado,

ES 2 692 160 T3

- facilitar la coordinación del espectro entre sistemas suficientemente próximos para que exista un riesgo de interferencia de un sistema sobre el otro.

Comparativamente con las técnicas conocidas del estado de la técnica, la invención propuesta permite, por consiguiente:

- 5 - limitar los riesgos de saturación de los equipos analógicos más sensibles,
 - proporcionar al mismo tiempo un alto nivel de rendimiento y flexibilidad en el rechazo de una o varias señales parásitas simultáneas mediante la utilización de técnicas digitales,
 - proporcionar un rechazo tanto selectivo en frecuencias como en banda extremadamente ancha, en el caso de un procesamiento mediante subbanda de frecuencias,
- 10 - rebajar las exigencias de calibración y de alineación de los equipos analógicos de las cadenas de recepción: de este modo, deben ser lo suficientemente buenos como para permitir reducir la potencia de la señal parásita mediante la formación de haces analógicos, realizándose el rechazo definitivo para proteger la integridad de la señal útil mediante procesamiento digital,
- 15 - ser integrada fácilmente en una arquitectura digital de procesamiento de la señal que posee ya un demultiplexador digital, así como capacidades de formación de haces digitales y de multiplexación.

REIVINDICACIONES

- 1 - Procedimiento (50) de supresión de una señal parásita recibida con una señal útil por una red (110) de antenas elementales ($A_1 - A_N$) de una carga (100) de un satélite (10), comprendiendo dicho procedimiento de supresión una etapa (51) de formación analógica de haces, denominados "haces analógicos", por medio de una red (120) analógica de formación de haces y a partir de señales elementales proporcionadas por dichas antenas elementales, y una etapa (52) de formación digital de un haz, denominado "haz digital", caracterizado por que la etapa (51) de formación analógica comprende:
- la formación de al menos un haz analógico, denominado "haz útil", para el cual la ganancia de la red de antenas elementales en la dirección de llegada de la señal útil es superior a la ganancia en la dirección de llegada de la señal parásita,
 - la formación de al menos un haz analógico, denominado "haz auxiliar", en el que la ganancia de la red de antenas elementales en la dirección de llegada de la señal parásita es superior a la ganancia en la dirección de llegada de la señal útil,
- obteniéndose el haz digital, durante la etapa (52) de formación digital, por combinación de señales digitales obtenidas mediante digitalización de al menos dicho haz auxiliar y dicho haz útil, mediante coeficientes de ponderación determinados de tal manera que suprimen la señal parásita en dicho haz digital.
- 2 - Procedimiento (50) según la reivindicación 1, en el cual, la red analógica de formación de haces está controlada, durante la etapa (51) de formación analógica, de tal manera que forma haces analógicos de potencias respectivas inferiores a una potencia máxima predefinida.
- 3 - Procedimiento (50) según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual, al menos dos señales parásitas son recibidas por la red (120) de antenas elementales, la etapa (51) de formación analógica comprende la formación de al menos dos haces auxiliares en los cuales las ganancias de la red (110) de antenas elementales en las direcciones de llegada de dichas al menos dos señales parásitas son superiores a la ganancia en la dirección de llegada de la señal útil.
- 4 - Procedimiento (50) según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual, al menos dos señales útiles son recibidas por la red (120) de antenas elementales, la etapa (51) de formación analógica comprende la formación de al menos dos haces útiles en los cuales las ganancias de la red (110) de antenas elementales en las direcciones de llegada respectivas de dichas al menos dos señales útiles son superiores a la ganancia en la dirección de llegada de la señal parásita.
- 5 - Procedimiento (50) según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual, las señales útiles están organizados en diferentes canales multiplexados en frecuencias, la etapa (52) de formación digital comprende etapas de:
- (520) demultiplexación de los canales a partir de las señales digitales obtenidas mediante digitalización de los haces analógicos,
 - (521) determinación de coeficientes de ponderación para cada canal,
 - (522) formación, para cada canal, de un haz digital por medio de los coeficientes de ponderación determinados para dicho canal.
- 6 - Procedimiento (50) según la reivindicación 5, en el cual, la etapa (520) de demultiplexación comprende un cálculo de espectro de frecuencias para cada haz analógico digitalizado mediante transformada de Fourier.
- 7 - Procedimiento (50) según una de las reivindicaciones 5 a 6, en el cual, la etapa (52) de formación digital comprende una etapa (523) de multiplexación de los haces digitales respectivos de los diferentes canales.
- 8 - Procedimiento (50) según la reivindicación 7, en el cual, los haces digitales están calculados en el dominio de la frecuencia, la etapa (523) de multiplexación comprende la combinación en el dominio de la frecuencia de los espectros de frecuencias respectivos de dichos haces digitales, y el cálculo de una representación temporal del resultado de dicha combinación mediante transformada inversa de Fourier.
- 9 - Producto de programa informático, caracterizado por que comprende un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por un procesador, configuran dicho procesador para implementar un procedimiento (50) de supresión de señal parásita según una de las reivindicaciones anteriores.
- 10 - Carga útil (100) de satélite (10), que comprende una red (110) de antenas elementales ($A_1 - A_N$) y una red (120) de formación analógica de haces, caracterizada por que comprende medios configurados para implementar un procedimiento (50) de supresión de señal parásita según una de las reivindicaciones 1 a 8.

11 - Sistema satelital que comprende un satélite (10) y al menos una estación terrestre (30), comprendiendo dicho satélite una carga útil (100) que comprende una red (110) de antenas elementales ($A_1 - A_N$) y una red (120) de formación analógica de haces, caracterizado por que comprende medios configurados para implementar un procedimiento (50) de supresión de señal parásita según una de las reivindicaciones 1 a 8.

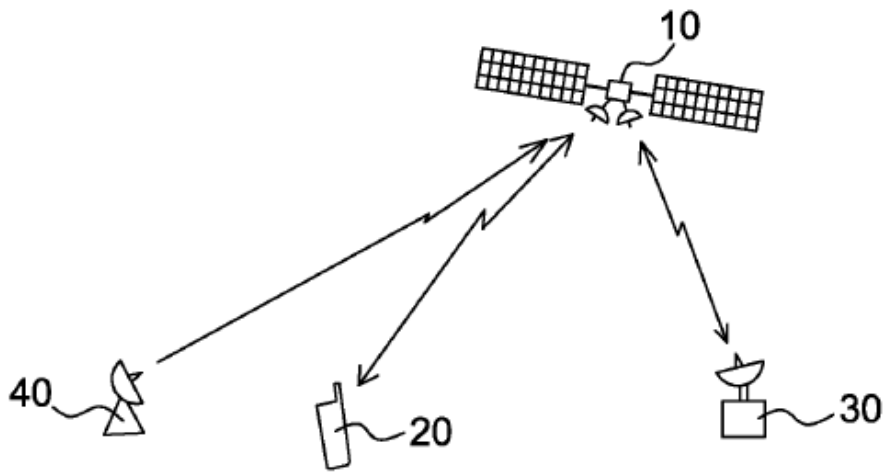


Fig.1

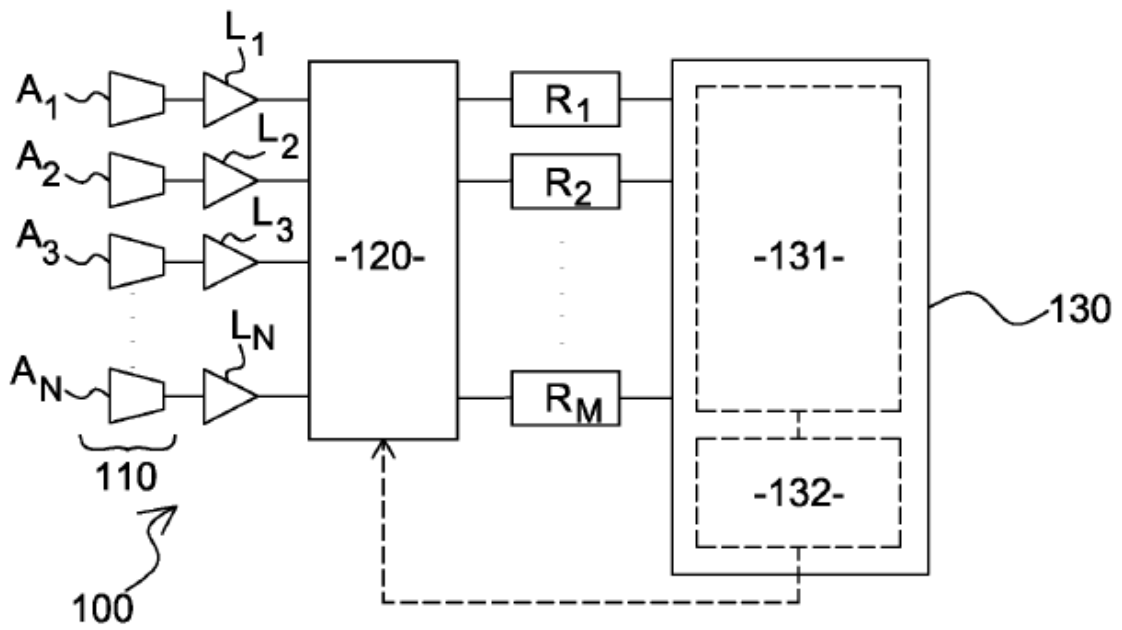


Fig.2

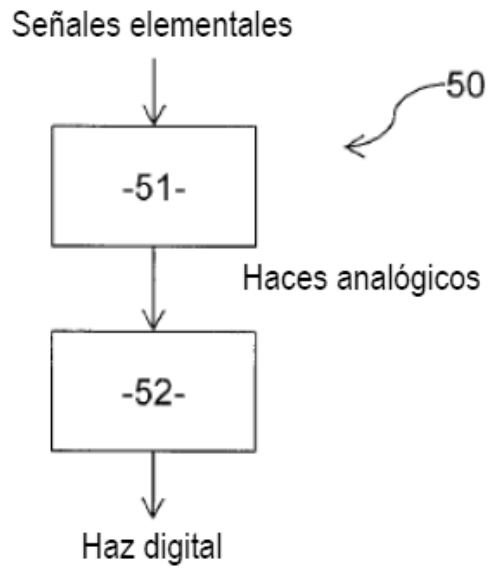


Fig. 3

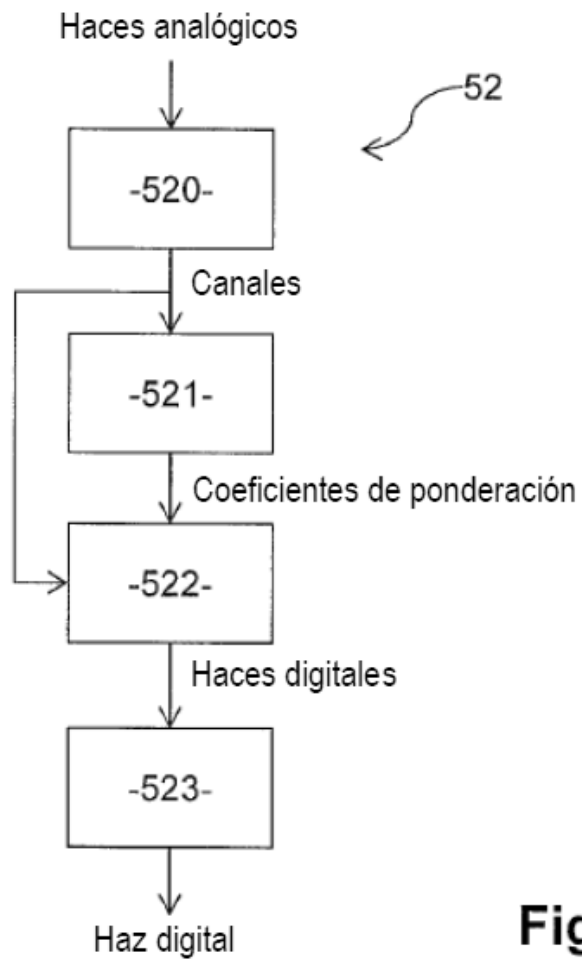


Fig. 4