

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 970 084**

51 Int. Cl.:

G06F 17/14 (2006.01)

H03H 17/02 (2006.01)

G01S 7/288 (2006.01)

G01S 7/292 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2020 E 20202213 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2023 EP 3809288**

54 Título: **Procedimiento de filtrado de latencia cero y dispositivos asociados**

30 Prioridad:

16.10.2019 FR 1911525

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

24.05.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HODE, JEAN-MICHEL

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 970 084 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 de filtrado de latencia cero y dispositivos asociados

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital. La presente invención se refiere también a un filtro, una cadena de tratamiento y un radar asociados
- [0002]** Para múltiples aplicaciones en el campo de los radares, es deseable filtrar una señal digitalizada con una función de transferencia específica.
- 10 **[0003]** Para ello se utilizan filtros de tipo transversal con respuesta de impulso finita. Tales filtros a menudo se designan con el acrónimo FIR que se refiere a la terminología anglosajona "Finite Impulse Response" que significa "respuesta de impulso finita". Los filtros FIR implementan operaciones que comprenden el uso de desplazamientos temporales de la señal, ganancias y sumas. El número de operaciones es igual a la longitud de la respuesta de impulso del filtro FIR considerada (la longitud se expresa en número de muestras).
- 15 **[0004]** Sin embargo, cuando la longitud de la respuesta de impulso del filtro es muy grande, como es el caso de la compresión de impulsos involucrados en los radares, la realización del filtrado se vuelve problemática o incluso imposible teniendo en cuenta el gran número de operaciones involucradas.
- 20 **[0005]** Para evitar este problema, se sabe que se realiza cierta operación en el espacio de frecuencias. Para ello, se aplica una transformación de Fourier para pasar del dominio de los tiempos al dominio de las frecuencias, la operación de filtrado se vuelve entonces multiplicativa, luego se aplica una transformación de Fourier para volver al dominio de los tiempos.
- 25 **[0006]** En la práctica, el tiempo se corta en secuencias y la transformación de Fourier se implementa mediante una transformada rápida de Fourier a menudo designada por el acrónimo FFT para "Fast Fourier Transform" (transformada rápida de Fourier en español). Más en concreto, el paso del dominio del espacio de los tiempos al espacio de las frecuencias se obtiene mediante el uso de una FFT, mientras que el paso del dominio del espacio de las frecuencias al espacio de los tiempos se obtiene mediante el uso de una IFFT. El acrónimo IFFT se refiere a "Inverse Fast Fourier Transform" (transformada de Fourier rápida inversa en español).
- 30 **[0007]** El uso de transformadas de Fourier rápidas inversas o no implica un tamaño al menos igual a la longitud del filtro. De hecho, si el tamaño de la transformada de Fourier rápida inversa o no es estrictamente igual al tamaño K del filtro, entonces el proceso solo permite obtener un punto en K, ya que los otros puntos calculados K-1 no son utilizables. Si el tamaño de la transformada de Fourier rápida inversa o no es estrictamente igual al doble del tamaño K del filtro, es decir, 2K, entonces el proceso permite obtener K puntos sobre 2K, ya que los otros K puntos calculados no son utilizables. Así, al desdoblarse el proceso, es posible calcular 2 veces K puntos sobre 2K y acceder a la totalidad de los puntos requeridos.
- 40 **[0008]** Sin embargo, esto muestra que se pierde la mitad de los puntos calculados, lo que aumenta la carga de cálculo y complica la implementación del filtro.
- 45 **[0009]** Por tanto, existe la necesidad de un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital que sea de aplicación más fácil.
- [0010]** Para ello, se describe un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada, que incluye al menos una etapa de suministro de una señal de entrada, una etapa de transmisión de la señal de entrada a través de dos vías de tratamiento, una etapa de obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones en la primera vía de tratamiento, las primeras operaciones que incluye al menos la aplicación de una transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada, siendo el entero p superior o igual a 1, una etapa de obtención de una segunda señal de salida mediante la realización de segundas operaciones en la segunda vía de tratamiento, las segundas operaciones que incluyen al menos la aplicación de un desplazamiento de $M/2$ puntos a una señal procedente de la señal de entrada y luego la aplicación de una transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre la señal desplazada y una etapa de aplicación de una transformada de Fourier inversa discreta a $M/2^p$ puntos sobre la primera señal para obtener M puntos de espectro de la primera señal, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, aplicándose la etapa de aplicación mediante la adición de los resultados de dos vías de tratamiento.
- 60 **[0011]** También se describe un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada, comprendiendo el procedimiento al menos una etapa de suministro de una señal de entrada, una etapa de transmisión de la señal de entrada a través de dos vías de tratamiento, una etapa de obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones en la primera vía de tratamiento, las primeras operaciones que implican al menos la aplicación de un
- 65

filtrado que implica una transformación de Fourier discreta a $M/2$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada, el filtrado que presenta una latencia de M , una etapa de obtención de una segunda señal de salida mediante la realización de segundas operaciones en la segunda vía de tratamiento, las segundas operaciones que implican al menos la aplicación de un desplazamiento de $M/2$ puntos a una señal procedente de la señal de entrada y luego la aplicación de un filtrado que implica una transformación de Fourier discreta a $M/2$ puntos en la señal desplazada, presentando el filtrado una latencia de M , una etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta inversa a $M/2$ puntos en la primera señal para obtener M puntos de espectro de la primera señal, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, y una etapa de recombinación de los resultados de dos vías de tratamiento.

- 10 **[0012]** Según realizaciones particulares, el procedimiento de filtrado comprende una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles:
- el procedimiento incluye una implementación al menos de la etapa de aplicación para una pluralidad de valores de p .
 - 15 - el entero p es inferior o igual al entero p_0 , siendo el entero p_0 un entero verificador $M/2^{p_0} = 1$.
 - el entero p aumenta en incrementos de 1.
 - las primeras operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta en M puntos sobre la primera señal del procedimiento de filtrado tal como se ha descrito anteriormente, siendo la primera señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral en 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa en M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y un tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera
 - 20 señal de salida.
 - las segundas operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la primera señal del procedimiento de filtrado tal como se ha descrito anteriormente, siendo la primera señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y un tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda
 - 25 señal de salida.
 - el procedimiento implica una operación de adición de una señal de entrada y de la señal de entrada desplazada de $N/2$ puntos, siendo la señal obtenida después de la adición la señal de entrada de la primera vía de tratamiento.
 - el procedimiento implica una operación de adición de una señal de entrada y de la señal de entrada desplazada de N puntos, siendo la señal obtenida después de la adición la señal de entrada de la segunda vía de tratamiento.
 - la operación de desplazamiento de N puntos se aplica con la ayuda de dos sub-unidades.
 - 30 - las primeras operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta en M puntos sobre la primera señal del procedimiento de filtrado tal como se ha descrito anteriormente, siendo la primera señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral en 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa en M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y un tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera
 - 35 señal de salida.
 - las segundas operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la primera señal del procedimiento de filtrado tal como se ha descrito anteriormente, siendo la primera señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y un tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda
 - 40 señal de salida.
 - el procedimiento comprende el suministro de una señal de entrada, la transmisión de la señal de entrada por dos vías, la obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones siguientes en la primera vía y la obtención de una segunda señal de salida mediante la implementación de las segundas operaciones siguientes en la segunda vía. La obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones siguientes en la primera vía: una primera operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una primera operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un
 - 45 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa en M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y un tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida.
 - 50 - las segundas operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la primera señal del procedimiento de filtrado tal como se ha descrito anteriormente, siendo la primera señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y un tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda
 - 55 señal de salida.
 - el procedimiento comprende el suministro de una señal de entrada, la transmisión de la señal de entrada por dos vías, la obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones siguientes en la primera vía y la obtención de una segunda señal de salida mediante la implementación de las segundas operaciones siguientes en la segunda vía. La obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones siguientes en la primera vía: una primera operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una primera operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un
 - 60 en la primera vía y la obtención de una segunda señal de salida mediante la implementación de las segundas operaciones siguientes en la segunda vía. La obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones siguientes en la primera vía: una primera operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una primera operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un
 - 65 estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un

análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado biyectivamente por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , una primera operación de segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una primera operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera
5 señal y una primera operación de tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida. La obtención de una segunda señal de salida mediante la implementación de las siguientes segundas operaciones en la segunda vía: una segunda operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una segunda operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos en la señal tratada para obtener
10 M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado biyectivamente por un índice k , siendo k un número impar comprendido entre 0 y 2^*M-1 , una segunda operación de segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener segundos puntos seleccionados, una segunda operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal y una segunda operación de tercer tratamiento
15 de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida. El procedimiento también incluye la recombinación de la primera señal de salida y la segunda señal de salida para obtener la señal filtrada.
- la segunda operación de primer tratamiento comprende la implementación de una translación de frecuencia de un valor igual a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2^*M , y la segunda operación de tercer tratamiento incluye la implementación de una translación de frecuencia aplicada a la segunda señal de un valor igual a la opuesta
20 a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2^*M .
- la primera operación de segundo tratamiento comprende la implementación del desplazamiento de los puntos de espectro de la señal tratada de M muestras para obtener puntos desplazados y el cálculo de la suma de los puntos de espectro de la señal tratada y de los puntos desplazados, y la segunda operación de segundo tratamiento comprende la implementación del desplazamiento de los puntos de espectro de la señal tratada de M muestras para obtener
25 puntos desplazados y el cálculo de la suma de los puntos de espectro de la señal tratada y de los puntos desplazados.
- la primera operación de primer tratamiento comprende la implementación del desplazamiento de la señal de entrada de M muestras para obtener una señal desplazada y el cálculo de la suma de la señal de entrada y de la señal desplazada, y la segunda operación de primer tratamiento comprende la implementación del desplazamiento de la señal de entrada de M muestras para obtener una señal desplazada y el cálculo de la diferencia entre la señal de
30 entrada y la señal desplazada.
- la etapa de recombinación se implementa mediante el cálculo de la diferencia entre la primera señal de salida y la segunda señal de salida.
- la etapa de recombinación se implementa mediante el cálculo de la diferencia entre la primera señal de salida y la segunda señal de salida, para obtener una primera señal de cálculo, cálculo de la suma de la primera señal de salida
35 y de la segunda señal de salida, para obtener una segunda señal intermedia de cálculo, - desplazamiento de la segunda señal intermedia de cálculo de M muestras para obtener una segunda señal de cálculo, y cálculo de la suma de la primera señal de cálculo y de la segunda señal de cálculo para obtener la señal filtrada.

[0013] También se describe un filtro adecuado para implementar el procedimiento de filtrado como se describió
40 anteriormente.

[0014] También se describe un filtro adecuado para filtrar una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada, el filtro comprende un terminal de entrada adecuado para recibir una señal de entrada, una primera vía de tratamiento adecuado para obtener una primera señal de salida
45 mediante la implementación de primeras operaciones, una segunda vía de tratamiento adecuado para obtener una segunda señal de salida mediante la implementación de segundas operaciones, un transmisor adecuado para transmitir la señal de entrada en la primera vía de tratamiento y la segunda vía de tratamiento, un mezclador adecuado para recombinar la primera señal de salida y la segunda señal de salida para obtener la señal filtrada. La primera vía de tratamiento es adecuada para realizar las primeras operaciones siguientes: primer tratamiento de la señal de
50 entrada para obtener una señal tratada, aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos en la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , aplicándose la aplicación mediante la adición de los resultados de dos vías de tratamiento, la primera vía de cálculo aplicando una transformada de Fourier discreta a $M/2$ puntos a la señal tratada y la segunda vía de cálculo aplicando un desplazamiento de $M/2$ puntos a la señal tratada y luego aplicando una transformada de Fourier discreta a $M/2$ puntos a la primera señal, segundo tratamiento de los puntos de espectro del señal tratada para obtener los
55 primeros puntos seleccionados, aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida. La segunda vía de tratamiento es adecuada para realizar las siguientes segundas operaciones: primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos en la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los indicios
60 impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número impar comprendido entre 0 y 2^*M-1 , aplicándose la aplicación mediante la adición de los

resultados de dos vías de tratamiento, la primera vía de cálculo aplicando una transformada de Fourier discreta a $M/2$ puntos a la señal tratada y la segunda vía de cálculo aplicando un desplazamiento de $M/2$ puntos a la señal tratada y luego aplicando una transformada de Fourier discreta a $M/2$ puntos a la primera señal, segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener segundos puntos seleccionados, aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida.

[0015] Según realizaciones particulares, el filtro comprende una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

10 - el filtro es adecuado para filtrar una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada, el filtro comprende un terminal de entrada adecuado para recibir una señal de entrada, una primera vía adecuada para obtener una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones, una segunda vía adecuada para obtener una segunda señal de salida mediante la implementación de las segundas operaciones, un transmisor adecuado para transmitir el señal de entrada en la primera vía y la segunda vía, un mezclador adecuado para recombinar la primera señal de salida y la segunda señal de salida para obtener la señal filtrada, siendo la primera vía adecuada para realizar las primeras operaciones siguientes: una primera operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una primera operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, siendo cada punto de espectro de la señal tratada correspondiente a los índices pares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , una primera operación de segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una primera operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal y una primera operación de tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida. La segunda vía es adecuada para implementar las siguientes segundas operaciones: una segunda operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal procesada, una segunda operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal procesada para obtener M puntos de espectro de la señal procesada, siendo M un número estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal procesada a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal procesada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número impar comprendido entre 0 y 2^*M-1 , una segunda operación de segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal procesada para obtener segundos puntos seleccionados, una segunda operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos sobre los segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal y una segunda operación de tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida.

[0016] También se propone un procedimiento de simplificación de un filtro digital de señal muestreado, que comprende al menos una etapa de suministro de un filtro que comprende las primeras vías adecuadas para obtener una primera señal de salida por implementación de las primeras operaciones, y las segundas vías adecuadas para obtener una segunda señal de salida por implementación de las segundas operaciones, y una unidad de recombinación de las señales obtenidas a la salida de las primeras vías y de las segundas vías, las primeras operaciones y las segundas operaciones que comprenden al menos una sucesión de operaciones no estacionarias discretas y de operaciones estacionarias, la sucesión que se refiere a operaciones comunes a las primeras y segundas operaciones, y una etapa de, para obtener un primer filtro intermedio, agrupación de vías que comprenden operaciones no estacionarias discretas que se refieren a la misma señal, las primeras vías que comprenden las operaciones no estacionarias que se refieren a una primera señal y las segundas vías que comprenden las operaciones no estacionarias que se refieren a una segunda señal, una etapa de, para obtener un segundo filtro intermedio, en cada una de las primeras y segundas vías, conmutación de las operaciones estacionarias con las operaciones no estacionarias, para eliminar las operaciones no estacionarias redundantes, y una etapa de construcción del filtro correspondiente al último filtro intermedio obtenido.

[0017] Según realizaciones particulares, el procedimiento de simplificación comprende una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

55 - las operaciones no estacionarias implican dos operaciones recíprocas entre sí.
 - las dos señales de la etapa de reunión forman una señal completa.
 - el número de puntos de cada señal es idéntico.
 - las operaciones no estacionarias se eligen de un grupo constituido por las transformadas de Fourier discretas, las transformadas de Fourier inversas discretas y las traslaciones de frecuencia.
 60 - las operaciones estacionarias son operaciones discretas en un grupo constituido por un filtrado realizado de manera multiplicativa en frecuencia, una suma, un retraso y una diferencia.
 - el filtro digital de señal muestreado a simplificar es un filtro tal como se describe anteriormente o que implementa un procedimiento de filtrado tal como se describe anteriormente.

65 **[0018]** La descripción también se refiere a una cadena de tratamiento que comprende al menos un filtro como

se describió anteriormente.

[0019] Según realizaciones particulares, la cadena de tratamiento comprende una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- la cadena de tratamiento es un circuito lógico programable.
- la cadena de tratamiento es un circuito integrado propio de una aplicación.
- la cadena de tratamiento se realiza en forma de un circuito lógico programable.
- la cadena de tratamiento se realiza en forma de un circuito integrado propio de una aplicación.

[0020] Además, también se describe un sistema que incluye una cadena de tratamiento como se describió anteriormente.

[0021] Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la lectura de la descripción que se ofrece a continuación de realizaciones de la invención, proporcionada únicamente a modo de ejemplo y en referencia a los dibujos que son:

- [Fig. 1] figura 1, una vista esquemática de un ejemplo de radar que comprende varios filtros,
- [Fig. 2] figura 2, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un primer ejemplo de filtro,
- [Fig. 3] figura 3, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un segundo ejemplo de filtro,
- [Fig. 4] figura 4, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un tercer ejemplo de filtro,
- [Fig. 5] figura 5, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un cuarto ejemplo de filtro,
- [Fig. 6] figura 6, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un quinto ejemplo de filtro,
- [Fig. 7] figura 7, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un sexto ejemplo de filtro,
- [Fig. 8] figura 8, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un séptimo ejemplo de filtro,
- [Fig. 9] figura 9, un diagrama de bloque que ilustra el buen funcionamiento del filtro de la figura 8,
- [Fig. 10] figura 10, un diagrama de bloques que ilustra un circuito básico utilizado para obtener la arquitectura del filtro de la figura 2,
- [Fig. 11] figura 11, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un octavo ejemplo de filtro,
- [Fig. 12] figura 12, un diagrama de bloques que muestra un circuito adecuado para realizar una parte de las operaciones del octavo ejemplo de filtro,
- [Fig. 13] figura 13, un diagrama de bloques que muestra las operaciones realizadas por un noveno ejemplo de filtro, y
- [Fig. 14] figura 14, un diagrama de bloques que muestra un circuito adecuado para realizar una parte de las operaciones del noveno ejemplo de filtro.

[0022] En la figura 1 se ilustra esquemáticamente un sistema 10.

[0023] El sistema 10 es, por ejemplo, un radar 10.

[0024] Como variante, el sistema 10 es un sistema de comunicación, un sistema de contramedidas o un sistema de detección como un goniómetro.

[0025] El radar 10 es capaz de recibir una señal de entrada 10E y convertir la señal de entrada 10E en una señal de salida 10S utilizable para usos posteriores.

[0026] El radar 10 incluye una antena 12 y una cadena de tratamiento 14.

[0027] La antena 12 es adecuada para recibir la señal de entrada 10E.

[0028] La cadena de tratamiento 14 es adecuada para garantizar la conversión de la señal de entrada 10E en señal de salida 10S.

[0029] La cadena de tratamiento 14 es adecuada para realizar un filtrado de la señal de entrada 10E.

[0030] Según el ejemplo de la figura 1, la cadena de tratamiento 14 comprende tres filtros 16, 18 y 20 en serie.

[0031] De hecho, el primer filtro 16 consta de un terminal de entrada 16E conectado a la antena 12 por un primer cable 22 y un terminal de salida 16S conectado al segundo filtro 18 por un segundo cable 24.

[0032] El segundo filtro 18 consta de un terminal de entrada 18E conectado al terminal de salida 16S del primer filtro 16 por el segundo cable 24 y un terminal de salida 18S conectado al tercer filtro 20 por un tercer cable 26.

[0033] El tercer filtro 20 comprende una entrada 20E conectada al terminal de salida 18S del segundo filtro 18 por el tercer cable 26 y un terminal de salida 20S conectado al cuarto cable 28 que transmite la señal de salida 10S.

- [0034] Según otra realización, la cadena de tratamiento 14 incluye un solo filtro.
- [0035] Como variante, la cadena de tratamiento 14 incluye cualquier número de filtros, por ejemplo 2, 4 o 6.
- 5 [0036] La cadena de tratamiento 14 es, por ejemplo, un circuito lógico programable. Dicho circuito se designa a menudo con el acrónimo FPGA, acrónimo en inglés de la expresión "field-programmable gate array", red de puertas programables in situ.
- 10 [0037] Según otro ejemplo, la cadena de tratamiento 14 es un circuito integrado propio de una aplicación. Dicho circuito se designa a menudo por el acrónimo ASIC (acrónimo del inglés "application-specific integrated circuit", que significa "circuito integrado propio de una aplicación").
- [0038] Cada filtro 16, 18 y 20 es adecuado para filtrar una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada.
- 15 [0039] Para simplificar la descripción, se supone que cada uno de los filtros 16, 18 y 20 es idéntico.
- [0040] Como variante, cada filtro de la cadena de tratamiento 14 es diferente.
- 20 [0041] Un ejemplo de un segundo filtro 18 se ilustra con mayor precisión en la figura 2.
- [0042] El segundo filtro 18 tiene dos bloques principales 34 que son el primer bloque principal 36 y el segundo bloque principal 38, una primera unidad de cálculo 40, una segunda unidad de cálculo 42 y un sumador de salida 43.
- 25 [0043] El primer bloque principal 36 y el segundo bloque principal 38 son idénticos.
- [0044] Por el término "idéntico" en este contexto, se entiende que cada uno de los dos bloques principales 36 y 38 es adecuado para aplicar las mismas operaciones a una señal incidente.
- 30 [0045] Además, en aras de la simplificación, a continuación se describe solo el primer bloque principal 36.
- [0046] El primer bloque principal 36 tiene tres ramas de entrada 44, 46 y 48 y una rama de salida 50.
- 35 [0047] El primer bloque principal 36 también incluye un sumador de entrada 52, un sustractor de entrada 54, una primera vía de tratamiento 56, una segunda vía de tratamiento 58 y un sumador de salida 59.
- [0048] La primera rama 44 del primer bloque principal 36 está directamente conectada con la entrada 18E del filtro 18.
- 40 [0049] La segunda rama 46 del primer bloque principal 36 está conectada con la primera unidad de cálculo 40.
- [0050] Concretamente, la primera unidad de cálculo 40 tiene una entrada 40E y una salida 40S y la salida 40S de la primera unidad de cálculo 40 está conectada con la segunda rama 46 del primer bloque principal 36.
- 45 [0051] La entrada 40E de la primera unidad de cálculo 40 está directamente conectada con la entrada 18E del filtro 18.
- [0052] La primera unidad de cálculo 40 es una unidad de desplazamiento.
- 50 [0053] El desplazamiento se ilustra esquemáticamente en la figura 2 por una caja 40 en la que está escrito " $z^{-N/2}$ " con referencia a una técnica de desplazamiento mediante el uso de la transformada en Z.
- [0054] N es en lo que sigue, un entero par estrictamente mayor que 4 de modo que el entero $N/2$ es mayor o igual a 2.
- 55 [0055] Dado que el entero N corresponde al número de muestras, en general es relativamente grande, en particular superior o igual a 100.
- 60 [0056] La tercera rama 48 del primer bloque principal 36 está directamente conectada con la entrada 18E del filtro 18.
- [0057] El sumador de entrada 52 y el sustractor de entrada 54 interactúan con las dos vías de tratamiento 56 y 58, por lo que conviene introducir ahora que la primera vía de tratamiento 56 se extiende entre una entrada 56E y una salida 56S y que la segunda vía de tratamiento 58 se extiende entre una entrada 58E y una salida 58S.

- 5 [0058] El sumador de entrada 52 tiene dos entradas 52E conectadas respectivamente a la primera rama 44 del primer bloque principal 36 y a la segunda rama 46 del primer bloque principal 36. El sumador de entrada 52 también incluye una salida 52S conectada con la entrada 56E de la primera vía de tratamiento 56.
- [0059] El sumador de entrada 52 es adecuado para realizar una operación de adición aplicada a las dos señales de salida de la primera rama 44 y de la segunda rama 46 del primer bloque principal 36, inyectando la señal obtenida después de la adición en la entrada 56E de la primera vía de tratamiento 56.
- 10 [0060] Desde un punto de vista más matemático, el sumador de entrada 52 es adecuado para efectuar la suma entre una señal y la misma señal desplazada de $N/2$ puntos.
- [0061] El sustractor de entrada 54 consta de una primera entrada 54E1 conectada con la tercera rama 48 del primer bloque principal 36 y una segunda entrada 54E2 conectada con la segunda rama 46 del primer bloque principal 15 36. El sustractor de entrada 54 también incluye una salida 54S conectada con la entrada 58S de la segunda vía de tratamiento 58.
- [0062] El sustractor de entrada 54 es adecuado para ejecutar una operación de diferencia aplicada entre las dos señales de entrada de la tercera rama 48 y la segunda rama 46 del primer bloque principal 36, inyectando la señal 20 obtenida después de la sustracción en la entrada 58S de la segunda vía de tratamiento 58.
- [0063] Desde un punto de vista más matemático, el sustractor de entrada 54 es adecuado para efectuar la sustracción entre una señal y la misma señal desplazada de $N/2$ puntos.
- 25 [0064] La primera vía de tratamiento 56 consta sucesivamente de dos subunidades: una primera subunidad 60 y una segunda subunidad 62.
- [0065] Dicho de otro modo, las dos subunidades 60 y 62 son en serie.
- 30 [0066] La primera subunidad 60 es adecuada para aplicar una transformada de Fourier discreta a $N/2$ puntos sobre la señal previamente obtenida (señal antes de la primera subunidad 60), dicha señal tratada, para obtener $N/2$ puntos de espectro de la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral a $2 \cdot N/2 = N$ puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y $2 \cdot M - 1$ (con $M = N/2$). En este caso, los puntos están numerados de 0 a 35 $2 \cdot M - 1$.
- [0067] Esto equivale a calcular los coeficientes pares del análisis espectral en N puntos de la señal tratada para obtener puntos seleccionados.
- 40 [0068] Por ejemplo, la transformada de Fourier discreta calculada es una transformada de Fourier rápida calificada $FFT_{N/2}$.
- [0069] Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 2 por una caja 64 en la que está inscrito $FFT_{N/2}$ y por un multiplicador 66 sobre el que llega una flecha 68 con la inscripción " $p^{(1)}_{2m}$ ", el (1) haciendo referencia al hecho de que 45 se trata de la primera vía de tratamiento 56.
- [0070] La segunda subunidad 62 también es adecuada para implementar una operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a $N/2$ puntos en los puntos seleccionados.
- 50 [0071] Por ejemplo, la transformada de Fourier discreta calculada es una transformada de Fourier rápida calificada $IFFT_{N/2}$.
- [0072] Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 2 mediante una caja en la que está inscrito $IFFT_{N/2}$.
- 55 [0073] La segunda subunidad 62 presenta una salida conectada al sumador de salida 59.
- [0074] La segunda vía de tratamiento 58 también incluye una primera subunidad 60 y una segunda subunidad 62, así como dos módulos de desplazamiento 70 y 72.
- 60 [0075] Como se indica anteriormente, las dos subunidades 60 y 62 de la segunda vía de tratamiento 58 son similares a las dos subunidades 60 y 62 de la primera vía de tratamiento 56.
- [0076] El primer módulo de desplazamiento 70 se encuentra entre la entrada 58S de la segunda vía de 65 tratamiento 58 y la primera subunidad 60.

[0077] El primer módulo de desplazamiento 70 es adecuado para implementar una traslación de frecuencia de un valor igual a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número N.

[0078] Tal primer módulo de desplazamiento 70 se simboliza por una flecha 74 en un multiplicador 76, flecha 74 en la que se escribe " $e^{-2j\pi n/N}$ " en referencia a una técnica habitual de traslación que consiste en multiplicar la señal por una exponencial compleja bien elegida.

[0079] El segundo módulo de desplazamiento 72 está situado entre la segunda subunidad 60 y la salida 58S de la segunda vía de tratamiento 58.

10

[0080] En este caso, el segundo módulo de desplazamiento 72 es adecuado para implementar una traslación de frecuencia de un valor opuesto a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número N.

[0081] Tal segundo módulo de desplazamiento 72 se simboliza por una flecha 78 en un multiplicador 80, flecha 78 en la que se escribe " $e^{-2j\pi n/N}$ " en referencia a una técnica habitual de traslación que consiste en multiplicar la señal por una exponencial compleja bien elegida.

15

[0082] El sumador de salida 59 está conectado respectivamente a las dos salidas 56S y 58S de cada vía de tratamiento 56 y 58 y entrega en salida la suma de las dos salidas 56S y 58S de cada vía de tratamiento 56 y 58.

20

[0083] La salida 59S del sumador de salida 59 corresponde a la rama de salida 50 del primer bloque principal 36.

[0084] Como se indica anteriormente, el segundo bloque principal 38 tiene los mismos elementos que el primer bloque principal 36. Solo las señales inyectadas en entrada difieren.

25

[0085] La primera rama de entrada 82 del segundo bloque principal 38 está conectada con la segunda rama de entrada 46 del primer bloque principal 36.

[0086] Esto significa que, en la primera rama de entrada 82 del segundo bloque principal 38, se inyecta la señal de entrada del filtro 18 desplazado de $N/2$.

30

[0087] La segunda rama de entrada 84 del segundo bloque principal 38 está conectada con una segunda unidad de cálculo 42.

35

[0088] Concretamente, la segunda unidad de cálculo 42 tiene una entrada 42E y una salida 42S y la salida 42S de la segunda unidad de cálculo 42 está conectada con la segunda rama de entrada 84 del segundo bloque principal 38.

[0089] La entrada 42E de la segunda unidad de cálculo 42 está directamente conectada con la entrada 18E del filtro 18.

40

[0090] La segunda unidad de cálculo 42 es una unidad de desplazamiento.

[0091] El desplazamiento se ilustra esquemáticamente en la figura 2 por una caja 42 en la que está escrito " $z^{-N/2}$ " con referencia a una técnica de desplazamiento mediante el uso de la transformada en Z.

45

[0092] Esto significa que, en la segunda rama de entrada 84 del segundo bloque principal 42, se inyecta la señal de entrada del filtro 18 desplazado de N.

50

[0093] La tercera rama de entrada 86 del segundo bloque principal 38 está directamente conectada a la segunda rama de entrada 46 del primer bloque principal 36.

[0094] Esto significa que, en la tercera rama de entrada 86 del segundo bloque principal 38, se inyecta la señal de entrada del filtro 18 desplazado de $N/2$.

55

[0095] Por último, el sumador de salida 43 está conectado a la rama de salida de cada bloque principal 36 y 38.

[0096] La salida 18S del filtro 18, que está conectada con la salida del sumador de salida 59, está atravesada por una señal correspondiente a la suma de las señales que circulan en las ramas de salida de cada bloque principal 36 y 38.

60

[0097] En la figura 3 se propone una arquitectura mejorada para el filtro 18 de la figura 2.

65

[0098] La arquitectura optimizada en la figura 3 explota ventajosamente la similitud entre, por una parte, las primeras vías de tratamiento 56 de los bloques principales y, por otra parte, las segundas vías de tratamiento 58 de los bloques principales. Por similitud en tal contexto se entienden operaciones o tratamientos similares.

5 **[0099]** Más concretamente, en el presente caso, se utiliza el hecho de que en las primeras vías de tratamiento 34, las operaciones de IFFT se refieren a los puntos de espectro que corresponden a los índices pares, mientras que, en las segundas vías de tratamiento 34, las operaciones de IFFT se refieren a los puntos de espectro que corresponden a los índices impares.

10 **[0100]** Según la arquitectura de la figura 3, las primeras vías de tratamiento 34 se mutualizan mediante un sumador intermedio, lo que permite utilizar una sola unidad de aplicación del IFFT en salida en lugar de dos en el caso de la figura 2.

[0101] De manera similar, las segundas vías de tratamiento 34 se mutualizan mediante un sumador intermedio, lo que permite utilizar una sola unidad de aplicación de la IFFT en salida para cada segunda vía de tratamiento 34, así como una sola unidad de aplicación de desplazamiento en lugar de dos en salida en el caso de la figura 2.

[0102] El sumador final se sustituye por un sustractor.

20 **[0103]** El filtro 18 de la figura 3 se optimiza así con respecto al filtro 18 de la figura 2, ya que el filtro 18 de la figura 3 implica tres operaciones que consumen recursos, a saber, dos operaciones de IFFT y una operación de desplazamiento.

25 **[0104]** En la figura 4 se propone una arquitectura aún mejor para el filtro 18 de la figura 2 y el filtro 18 de la figura 3.

[0105] Como en el caso de la figura 3, la arquitectura optimizada en la figura 4 explota ventajosamente la similitud entre, por una parte, las primeras vías de tratamiento 56 de los bloques principales y, por otra parte, las segundas vías de tratamiento 58 de los bloques principales.

30 **[0106]** Más concretamente, en el caso que nos ocupa en comparación con el caso de la figura 3, se utiliza el hecho de que la operación FFT de una primera vía de tratamiento 56 difiere únicamente de la operación FFT de la otra primera vía de tratamiento 56 por la aplicación de desplazamientos en los puntos en los que se aplica la operación de FFT considerada. Del mismo modo, la operación FFT de una segunda vía de tratamiento 58 difiere únicamente de la operación FFT de la otra segunda vía de tratamiento 58 por la aplicación de desplazamientos en los puntos en los que se aplica la operación de FFT considerada.

40 **[0107]** Como los desplazamientos pueden ser mutualizados y aplicados después de la operación de FFT, se obtiene la arquitectura de la figura 4.

[0108] El filtro de la figura 4 comprende así de dos vías de tratamiento V1 y V2 que son sumadas a la salida por un sumador final.

45 **[0109]** La segunda vía V2 comprende la misma sucesión de operaciones que las operaciones de la primera vía V1. La segunda vía V2 difiere únicamente de la primera vía V1 por la presencia de una unidad de desplazamiento aguas arriba de la sucesión de operaciones y la presencia de una unidad de desplazamiento en sentido inverso aguas abajo de la sucesión de operaciones. Las operaciones aplicadas entre las dos unidades de desplazamiento que son las mismas que las operaciones de la primera vía V1 se describen ahora mediante la descripción de la primera vía V1 que se ofrece a continuación.

50 **[0110]** La primera vía V1 comprende sucesivamente una unidad $FFT_{N/2}$ 64, una unidad de preparación de la señal 88, dos unidades de selección 66, un sumador 96 y una unidad $IFFT_{N/2}$ 62.

55 **[0111]** La unidad $FFT_{N/2}$ 64 es adecuada para aplicar una FFT a $N/2$ puntos en la señal procedente del terminal de entrada 18E del filtro 18.

[0112] La unidad de preparación de señal 88 sirve para preparar la señal a enviar para cada unidad de selección.

60 **[0113]** La unidad de preparación de la señal 88 consta únicamente de subunidades de adición 90 y de subunidades de desplazamiento 92 y 94.

[0114] Más precisamente, la unidad de preparación de la señal 88 consta de una subunidad de adición y dos subunidades de desplazamiento.

65

- 5 [0115] La subunidad de adición 90 es adecuada para efectuar la adición entre dos ramas de entrada, una primera rama de entrada correspondiente al espectro obtenido a la salida de la unidad $FFT_{N/2}$ y una segunda rama de entrada que comprende una subunidad de desplazamiento de $N/2$ representada por una caja $z^{-N/2}$. La segunda rama de entrada corresponde así al espectro obtenido a la salida de la unidad $FFT_{N/2}$ con un desplazamiento de $N/2$ puntos.
- 10 [0116] La subunidad de adición 90 comprende dos ramas de salida, una primera rama de salida conectada directamente a la primera unidad de selección y una segunda rama de salida que comprende una subunidad de desplazamiento de $N/2$ representada por una caja $z^{-N/2}$, estando conectada la subunidad de desplazamiento de la segunda rama de salida a la segunda unidad de selección.
- 15 [0117] A continuación, las unidades de selección 66 se conectan con el sumador 96, cuya salida está conectada con la unidad $IFFT_{N/2}$.
- [0118] La arquitectura de filtro 18 representada en la figura 4 se optimiza así con respecto al filtro 18 de la figura 3 por el hecho de que dos operaciones de FFT muy costosas en términos de recursos ya no se implementan.
- 20 [0119] Como se muestra en la figura 5, también es posible utilizar la arquitectura de filtro 18 de la figura 4 para introducir extractores de cálculo para recuperar el resultado de estas operaciones, siempre que estos resultados puedan utilizarse para otro cálculo del filtro 18 o de otro elemento exterior al filtro 18.
- [0120] Según el ejemplo de la figura 5, el filtro 18 incluye los mismos elementos que el filtro 18 de la figura 4, así como dos extractores de cálculo 98 y 99.
- 25 [0121] El primer extractor de cálculo 98 sirve para exportar el resultado de la FFT de N puntos hacia el exterior del filtro 18.
- [0122] El segundo extractor de cálculo 99 sirve para implementar parcialmente el IFFT a $N/2$ puntos en una señal inyectada desde el exterior en el sumador situado directamente aguas arriba de la unidad de aplicación del IFFT.
- 30 [0123] De forma correspondiente, como se representa con líneas discontinuas, el cálculo de la $FFT_{N/2}$ puede realizarse en otro filtro de manera que se evite la presencia de la unidad de cálculo de la $FFT_{N/2}$.
- [0124] La arquitectura de filtro 18 propuesta para la figura 5 permite así mutualizar los recursos de cálculo entre varias etapas o dispositivos de cálculo.
- 35 [0125] Estos principios de simplificación corresponden de manera más general a un procedimiento de simplificación de un filtro digital de señal muestreado que utiliza las propiedades antes mencionadas de conmutación de operaciones estacionarias (desplazamiento, suma) y no estacionarias discretas (FFT e IFFT).
- 40 [0126] Tal procedimiento de simplificación comprende al menos una etapa de suministro S1, una etapa de reunión S2, una etapa de conmutación S3 y una etapa de construcción S4.
- 45 [0127] Durante la etapa de suministro S1, se proporciona un filtro que comprende las primeras vías adecuadas para obtener una primera señal de salida por implementación de las primeras operaciones, las segundas vías adecuadas para obtener una segunda señal de salida por implementación de las segundas operaciones, y una unidad de recombinación de las señales obtenidas a la salida de las primeras vías y de las segundas vías.
- 50 [0128] Las primeras operaciones y las segundas operaciones implican al menos la misma sucesión de operaciones no estacionarias discretas y de operaciones estacionarias, la sucesión se refiere a operaciones comunes a las primeras y segundas operaciones.
- [0129] Durante la etapa de reunión S2, para obtener un primer filtro intermedio, se reúnen vías que comprenden operaciones no estacionarias discretas relativas a la misma señal, las primeras vías reunidas que comprenden las operaciones no estacionarias relativas a una primera señal y las segundas vías reunidas que comprenden las operaciones no estacionarias relativas a una segunda señal.
- 55 [0130] Durante la etapa de conmutación S3, para obtener un segundo filtro intermedio, en cada una de las primeras vías y segundas vías, se conmutan operaciones estacionarias con operaciones no estacionarias, para eliminar las operaciones no estacionarias redundantes.
- 60 [0131] Durante la etapa de construcción S4, se construye el filtro correspondiente al último filtro intermedio obtenido.
- [0132] Tal procedimiento de simplificación permite obtener circuitos de cálculo que implican menos recursos
65 calculatorios.

- [0133]** De lo contrario, el procedimiento realiza una simplificación en el sentido de que se realiza un ahorro de recursos.
- 5 **[0134]** Según un ejemplo particular, al menos una de las operaciones no estacionarias y estacionarias es una operación discreta.
- [0135]** Preferentemente, las operaciones no estacionarias implican dos operaciones recíprocas entre sí.
- 10 **[0136]** Según una realización particular, las dos señales de la etapa de reunión forman una señal completa.
- [0137]** Ventajosamente, el número de puntos de cada señal es idéntico.
- [0138]** Según una realización, las operaciones no estacionarias se eligen entre un grupo constituido por transformadas de Fourier discretas, transformadas de Fourier inversas discretas y traslaciones de frecuencia.
- 15 **[0139]** En un ejemplo en particular, las operaciones estacionarias son operaciones discretas en un grupo que consiste en un filtrado realizado de manera multiplicativa en frecuencia, una suma, un retraso y una diferencia.
- 20 **[0140]** Como se explicó anteriormente, el procedimiento de simplificación permite obtener una pluralidad de filtros 18 que realizan la misma función con más o menos recursos involucrados.
- [0141]** Cada una de las implementaciones antes mencionadas del filtro 18 debe compararse con los filtros 100 de las figuras 6 a 8, así como en referencia a la figura 9, que corresponde a un diagrama de bloque que ilustra el buen funcionamiento del filtro 100 de la figura 8.
- 25 **[0142]** Para facilitar la comparación entre los diferentes filtros, los signos de referencia de los elementos relativos al filtro de las figuras 1 a 5 (y posteriormente de las figuras 11 a 14) se basan en el signo de referencia 18, mientras que los signos de referencia de los elementos relativos al filtro de las figuras 6 a 8 se basan en la figura 2. Así, el término "filtro 18" se utiliza en el resto de la descripción para designar un filtro tal como se describe en una de las figuras 1 a 5 y 11 a 14, mientras que el término "filtro 100" se utiliza para designar un filtro tal como se describe en una de las figuras 6 a 8.
- 30 **[0143]** Sin embargo, se entiende que las notas que se aplican al filtro 18 también son válidas para el filtro 100 y dichos comentarios no se repiten a continuación.
- [0144]** A modo de ejemplo, el filtro 18 comprende una entrada 18E y una salida 18S. De manera correspondiente, el filtro 100 comprende una entrada 100E y una salida 100S.
- 40 **[0145]** A la inversa, las notas que se aplican al filtro 100 también son válidas para el filtro 18 cuando sea técnicamente posible.
- [0146]** Como se ilustra en la figura 6, el filtro 100 comprende una primera vía 1001, una segunda vía 1002, un transmisor 1003 y un mezclador 1004.
- 45 **[0147]** El terminal de entrada 100E es capaz de recibir una señal de entrada.
- [0148]** La primera vía 1001 es adecuada para obtener una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones.
- 50 **[0149]** La primera vía 1001 es adecuada para ejecutar una primera operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal procesada.
- [0150]** Según el ejemplo de la figura 6, el primer tratamiento es el envío de la señal de entrada.
- 55 **[0151]** La primera vía 1001 es también adecuada para aplicar una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral a $2 \cdot M$ puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k, siendo k un número par comprendido entre 0 y $2 \cdot M - 1$. En este caso, los puntos están numerados de 0 a $2 \cdot M - 1$.
- 60 **[0152]** Esto equivale a calcular los coeficientes pares del análisis espectral a $2 \cdot M$ puntos de la señal tratada.
- [0153]** Por ejemplo, la transformada de Fourier discreta calculada es una transformada de Fourier rápida calificada FFT_M .
- 65

[0154] Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 2 por una caja en la que está inscrito FFT_M y por un multiplicador en el que aparece una flecha con la inscripción " $p2m$ ".

5 **[0155]** La primera vía 1001 también es adecuada para implementar una primera operación de segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados.

[0156] La primera vía 1001 es adecuada para implementar el desplazamiento de los puntos de espectro de la señal tratada de M muestras para obtener puntos desplazados y el cálculo de la suma de los puntos de espectro de la señal tratada y los puntos desplazados.
10

[0157] El desplazamiento se ilustra esquemáticamente en la figura 6 mediante una caja en la que está inscrita " z^{-M} " con referencia a una técnica de desplazamiento por utilización de la transformada en Z .

15 **[0158]** Un signo de suma sobre el que llegan dos flechas, una correspondiente a un trayecto que pasa por la caja en la que está inscrita " z^{-M} " y la otra correspondiente a un trayecto que no pasa por ella, muestra esquemáticamente la primera operación de segundo tratamiento.

[0159] La primera vía 1001 también es adecuada para implementar una primera operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal.
20

[0160] Por ejemplo, la transformada de Fourier discreta calculada es una transformada de Fourier rápida calificada $IFFT_M$.

25 **[0161]** Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 6 por una caja en la que está inscrito $IFFT_M$.

[0162] La primera vía 1001 también es adecuada para implementar una primera operación de tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida.
30

[0163] En este caso, la primera operación del tercer tratamiento consiste en transmitir la primera señal de salida al mezclador 1004.

[0164] La segunda vía 1002 es adecuada para obtener una segunda señal de salida mediante la implementación de segundas operaciones.
35

[0165] La segunda vía 1002 es adecuada para ejecutar una segunda operación de primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal procesada.

40 **[0166]** En este caso, la segunda vía 1002 es adecuada para implementar una traslación de frecuencia de un valor igual a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2^*M .

[0167] Tal operación está simbolizada por una flecha en un multiplicador, flecha en la que está inscrita " $e^{-j\omega n/N}$ " en referencia a una técnica habitual de traslación que consiste en multiplicar la señal por una exponencial compleja bien elegida.
45

[0168] La segunda vía 1002 es adecuada para implementar una segunda operación de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada para obtener M puntos de espectro de la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y siendo localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número impar comprendido entre 0 y 2^*M-1 .
50

[0169] La segunda vía 1002 es adecuada para ejecutar una segunda operación de segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener segundos puntos seleccionados.
55

[0170] La segunda vía 1002 es así adecuada para implementar el desplazamiento de los puntos de espectro de la señal tratada de M muestras para obtener puntos desplazados y el cálculo de la suma de los puntos de espectro de la señal tratada y de los puntos desplazados. Desde el punto de vista de la señal, el desplazamiento es un retraso temporal.
60

[0171] El desplazamiento se ilustra esquemáticamente en la figura 6 mediante una caja en la que está inscrita " z^{-M} " con referencia a una técnica de desplazamiento por utilización de la transformada en Z .

[0172] Un signo de suma sobre el que llegan dos flechas, una correspondiente a un trayecto que pasa por la caja en la que está inscrita " z^{-M} " y la otra correspondiente a un trayecto que no pasa por ella, muestra
65

esquemáticamente la segunda operación de segundo tratamiento.

- 5 [0173] La segunda vía 1002 también es adecuada para implementar una segunda operación de aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal.
- [0174] La segunda vía 1002 también es adecuada para implementar una segunda operación de tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida.
- 10 [0175] En este caso, la segunda vía 1002 es adecuada para implementar una traslación de frecuencia de un valor opuesto a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2^*M .
- [0176] Tal operación está simbolizada por una flecha en un multiplicador, flecha en la que está inscrita " $e^{j\pi n^2/N}$ " en referencia a una técnica habitual de traslación que consiste en multiplicar la señal por una exponencial compleja bien elegida.
- 15 [0177] El transmisor 1003 es adecuado para transmitir la señal de entrada en la primera vía 1001 y la segunda vía 1002.
- 20 [0178] El mezclador 1004 es apto para recombinar la primera señal de salida y la segunda señal de salida para obtener la señal filtrada.
- [0179] En este caso, como la recombinación se obtiene por una diferencia de la primera señal de salida y de la segunda señal de salida, el mezclador 1004 está representado por un círculo con un signo + y un signo -.
- 25 [0180] A continuación se describe el funcionamiento del segundo filtro 100 en referencia a un ejemplo de implementación de un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada.
- 30 [0181] El procedimiento comprende una etapa de suministro, una etapa de transmisión, una etapa de obtención de una primera señal de salida, una etapa de obtención de una segunda señal de salida y una etapa de recombinación.
- [0182] En la etapa de suministro, la señal de entrada se proporciona en el terminal de entrada 100E del segundo filtro 100.
- 35 [0183] En la etapa de transmisión, la señal de entrada se transmite a través del transmisor 1003 en los dos canales 1001 y 1002.
- [0184] En la etapa de obtención de la primera señal de salida, se calcula la transformada rápida de Fourier a M puntos de la señal de entrada para obtener los coeficientes de orden par de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal de entrada.
- 40 [0185] A continuación, se realiza una primera operación de implementación del desplazamiento de los puntos de espectro de la señal tratada de M muestras para obtener los puntos desplazados y el cálculo de la suma de los puntos de espectro de la señal tratada y los puntos desplazados. Se obtienen así los primeros puntos seleccionados.
- 45 [0186] A continuación, se aplica una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal de salida.
- 50 [0187] La primera señal de salida se envía al transmisor 1003.
- [0188] En la etapa de obtención de la segunda señal de salida, se implementa una traslación de frecuencia de un valor igual a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2^*M . De este modo, se obtiene una señal procesada.
- 55 [0189] Se calcula la transformada rápida de Fourier a M puntos de la señal tratada para obtener los coeficientes de orden impar de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal de entrada.
- [0190] A continuación, se realiza una segunda operación de implementación del desplazamiento de los puntos de espectro de la señal tratada de M muestras para obtener los puntos desplazados y el cálculo de la suma de los puntos de espectro de la señal tratada y los puntos desplazados. Se consiguen así segundos puntos seleccionados.
- 60 [0191] A continuación, se aplica una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal.
- 65

- [0192]** A continuación, se implementa una translación de frecuencia aplicada a la segunda señal de un valor igual al opuesto de la relación entre la frecuencia de muestreo y el número $2 \cdot M$. Esto permite obtener una señal de salida.
- 5 **[0193]** La etapa de recombinación se implementa a continuación con la ayuda del mezclador 1004 para obtener la señal filtrada efectuando la diferencia entre la primera señal de salida y la segunda señal de salida.
- [0194]** El procedimiento permite obtener una señal filtrada de manera más fácil.
- 10 **[0195]** De hecho, el procedimiento, en comparación con un procedimiento del estado de la técnica, permite limitar el espacio de memoria requerido en un 40 % como se demuestra al comentar la figura 9.
- [0196]** Además, también es posible mutualizar los cálculos, ya que las dos vías 1001 y 1002 son sincrónicas.
- 15 **[0197]** Como variante, el segundo filtro 100 se ajusta a la realización de la figura 7.
- [0198]** Los elementos idénticos al modo de realización de la figura 6 no se describen de nuevo. Solo se destacan las diferencias.
- 20 **[0199]** El segundo filtro 100 según la realización de la figura 7 difiere del segundo filtro 100 según la realización de la figura 6 por las operaciones que la primera vía 1001 y la segunda vía 1002 son adecuadas para implementar y por la naturaleza de las operaciones realizadas durante la etapa de recombinación.
- 25 **[0200]** En el caso de la figura 6, cada una de las primeras operaciones de primer tratamiento y de segundo tratamiento consiste en transmitir la señal considerada.
- [0201]** En el caso de la figura 7, la segunda operación de primer tratamiento comprende la implementación de una translación de frecuencia de un valor igual a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número $2 \cdot M$.
- 30 **[0202]** El segundo tratamiento consiste en transmitir la señal considerada.
- [0203]** La segunda operación de tercer tratamiento comprende la implementación de una translación de frecuencia aplicada a la segunda señal de un valor igual al opuesto de la relación entre la frecuencia de muestreo y el número $2 \cdot M$.
- 35 **[0204]** En la etapa de recombinación, se calcula la diferencia entre la primera señal de salida y la segunda señal de salida, para obtener una primera señal de cálculo.
- [0205]** A continuación, se calcula la suma de la primera señal de salida y de la segunda señal de salida, para obtener una segunda señal intermedia de cálculo.
- 40 **[0206]** También se implementa un desplazamiento de la segunda señal intermedia de cálculo de M muestras para obtener una segunda señal de cálculo.
- 45 **[0207]** También se calcula la suma de la primera señal de cálculo y de la segunda señal de cálculo para obtener la señal filtrada.
- [0208]** Las mismas ventajas se refieren al modo de realización según la figura 7.
- 50 **[0209]** Según otra variante, el segundo filtro 100 se ajusta al modo de realización de la figura 6.
- [0210]** Los elementos idénticos al modo de realización de la figura 6 no se describen de nuevo. Solo se destacan las diferencias.
- 55 **[0211]** El segundo filtro 100 según la realización de la figura 8 difiere del segundo filtro 100 según la realización de la figura 6 por las operaciones que la primera vía 1001 y la segunda vía 1002 son adecuadas para implementar.
- [0212]** En el caso de la figura 8, la primera operación de primer tratamiento implementa el desplazamiento de la señal de entrada de M muestras para obtener una señal desplazada y el cálculo de la suma de la señal de entrada y de la señal desplazada.
- 60 **[0213]** Cada primera operación de segundo y tercer tratamiento consiste en transmitir la señal.
- [0214]** Según el ejemplo de la figura 8, la segunda operación de primer tratamiento implementa el desplazamiento de la señal de entrada de M muestras para obtener una señal desplazada y el cálculo de la suma de
- 65

la señal de entrada y de la señal desplazada. La segunda operación de primer tratamiento implementa a continuación una traslación de frecuencia de un valor igual a la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2*M.

[0215] La segunda operación de segundo tratamiento consiste en transmitir la señal.

[0216] La segunda operación de tercer tratamiento implementa una traslación de frecuencia aplicada a la segunda señal de un valor igual al opuesto de la relación entre la frecuencia de muestreo y el número 2*M.

[0217] Las mismas ventajas se refieren al modo de realización según la figura 8.

[0218] En la siguiente sección, en referencia a la figura 9, se muestra que los cálculos propuestos permiten obtener el filtrado deseado.

[0219] Para calcular un tramo de M puntos de salida, se utiliza un tramo de 2M puntos a_n para índices n que, por convención, serán tales que $0 \leq n \leq 2*M-1$.

[0220] Para comprender el resto del cálculo, conviene aclarar las generalidades sobre la descomposición de una transformada de Fourier discreta (TFD) en Radix (siendo x el número de puntos factorizables).

[0221] La transformada de Fourier discreta a N puntos de una secuencia de N puntos x_n (siendo N un número entero) vale:

$$X_m = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi \frac{n \times m}{N}}$$

[0222] En el caso en que N es el producto $N = N_1 \times N_2$ de dos números enteros N_1 y N_2 , puede escribirse:

$$X_{m_1 N_2 + m_2} = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x_{n_2 N_1 + n_1} e^{-j2\pi \frac{(n_2 N_1 + n_1)(m_1 N_2 + m_2)}{N_1 N_2}} = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x_{n_2 N_1 + n_1} e^{-j2\pi \frac{n_2 m_1}{N_1}} e^{-j2\pi \frac{n_2 m_2}{N_1 N_2}} e^{-j2\pi \frac{n_1 m_2}{N_2}}$$

[0223] La transformada de Fourier discreta corresponde a la cascada de una transformada de Fourier discreta de N_2 puntos y de una transformada de Fourier discreta de N_1 puntos

[0224] En una realización natural de la FFT, la transformada de Fourier discreta de N_2 puntos ("multiplexada") es seguida por la transformada de Fourier de N_1 puntos ("rápida"), lo que corresponde a:

$$\underbrace{X_{m_1 N_2 + m_2}}_{\substack{0 \leq m_1 \leq N_1 - 1 \\ 0 \leq m_2 \leq N_2 - 1}} = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} x_{n_2 N_1 + n_1} \times e^{-j2\pi \frac{(n_2 N_1 + n_1)(m_1 N_2 + m_2)}{N_1 N_2}} = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} e^{-j2\pi \frac{n_1 m_1}{N_1}} \times \underbrace{e^{-j2\pi \frac{n_2 m_2}{N_1 N_2}}}_{\text{tweedle factors}} \times \underbrace{\sum_{n_2=0}^{N_2-1} x_{n_2 N_1 + n_1} e^{-j2\pi \frac{n_2 m_2}{N_2}}}_{\substack{\text{FFT a } N_2 \text{ puntos} \\ \text{multiplexada por } N_1 \\ \text{(radix } N_2)}} = \underbrace{\sum_{n_1=0}^{N_1-1} e^{-j2\pi \frac{n_1 m_1}{N_1}}}_{\substack{\text{FFT de } N_1 \text{ puntos} \\ \text{(radix } N_1)}} \times \dots$$

[0225] Por definición, el índice rápido del tiempo n_1 llega en el tiempo corto. El índice lento de las frecuencias m_1 sale en el tiempo corriente y el índice rápido de las frecuencias m_2 sale en el tiempo largo ("bit reverse") y se concluye por

[0226] La segunda de las transformadas de Fourier discretas puestas en juego está ponderada por un oscilador local que permite un desplazamiento fino del espectro; el término exponencial que permite esta traslación se llama "tweedle factor":

$$\text{tweedle factor} = e^{-j2\pi \frac{n_1 \times m_2}{N_1 N_2}}$$

[0227] En principio, el índice de salida que varía más rápidamente es m_1 . Ya que corresponde a la transformada de Fourier discreta "rápida", es decir, no multiplexada. Por lo tanto, el orden de salida de las frecuencias no es el orden natural: de hecho, primero salen los m que valen 0 módulo N_1 y luego los m que valen 1 y así sucesivamente hasta los m que valen $N_1 - 1$ siempre 0 módulo N_1 ; este orden se llama "bit reverse" porque corresponde a invertir la representación binaria del índice para obtener el rango de salida (para un número de puntos en potencia de 2).

[0228] La realización de la transformada de Fourier discreta inversa, que recupera los datos de frecuencia en "bit reverse", se efectúa de manera dual, por inversión de las operaciones (conjugación de los tweedle factors, IFFT rápido en N_1 puntos seguido de una IFFT multiplexada en N_2 puntos).

$$X_{n_2 N_1 + n_1} = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} X_{m_1 N_2 + m_2} \times e^{+j2\pi \frac{(n_2 N_1 + n_1)(m_1 N_2 + m_2)}{N_1 N_2}} = \sum_{m_2=0}^{N_2-1} e^{+j2\pi \frac{n_2 m_2}{N_2}} \times e^{+j2\pi \frac{n_1 m_2}{N_1 N_2}} \times \sum_{m_1=0}^{N_1-1} X_{m_1 N_2 + m_2} e^{+j2\pi \frac{n_1 m_1}{N_1}}$$

tweedle factors
FFT de N_1 puntos (radix N_1)

FFT a N_2 puntos multiplexada por N_1 (radix N_2)

[0229] El índice lento de las frecuencias m_1 llega en el tiempo corriente y el índice rápido de las frecuencias m_2 llega en el tiempo largo ("bit reverse").

[0230] El índice rápido del tiempo n_1 aparece en el tiempo corto.

[0231] Así, la realización se efectúa como la cascada de una transformada de Fourier discreta de N_2 puntos multiplexada por N_1 y de una transformada de Fourier discreta de N_1 puntos no multiplexada. El "tweedle factor" se coloca entre las dos etapas de transformada de Fourier discreta. La primera transformada de Fourier discreta realizada es multiplexada, esta descomposición se adapta a datos de entrada paralelizados; el multiplexado se transforma entonces en tratamiento en paralelo.

[0232] Por otra parte, siguiendo esta realización clásica, la FFT de $2M$ puntos, una descomposición en radix2 y radix M como una continuación a_n se escribe por lo tanto:

$$a_m = \sum_{n=0}^{2M-1} x_n e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}} = \sum_{n=0}^{M-1} (x_n + (-1)^m x_{n+M}) e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}} = \sum_{n=0}^{M-1} x_n e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}} + (-1)^m \sum_{n=0}^{M-1} x_{n+M} e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}}$$

$$b_m = \sum_{n=0}^{2M-1} a_n e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}} = \sum_{n=0}^{M-1} a_n e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}} + (-1)^m \sum_{n=0}^{M-1} a_{M+n} e^{-j2\pi \frac{nm}{2M}}$$

[0233] En particular:

$$b_{2m+p} = \sum_{n=0}^{M-1} a_n e^{-j2\pi np/(2M)} e^{-j2\pi nm/M} + (-1)^p \sum_{n=0}^{M-1} a_{M+n} e^{-j2\pi np/(2M)} e^{-j2\pi nm/M}$$

35 ○

$$p = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

○

$$b_{2m+p} = \text{FFT}_M \left(a_n e^{-j\pi p/M} \right) + (-1)^p \text{FFT}_M \left(a_{M+n} e^{-j\pi p/M} \right)$$

donde FFT_M designa la FFT en M puntos.

5

[0234] Debe observarse que esta densidad espectral también se escribe de las dos formas siguientes que simplificarán su implementación:

$$b_{2m+p} = \text{FFT}_M \left(a_n e^{-j\pi p/M} \right) + \text{FFT}_M \left(a_{M+n} e^{-j\pi(M+n)p/M} \right)$$

10

y

$$b_{2m+p} = \text{FFT}_M \left(\left[(-1)^p a_n + a_{M+n} \right] e^{-j\pi(M+n)p/M} \right)$$

15 **[0235]** Tomando nota de p_m la respuesta espectral del filtro, se obtiene la respuesta filtrada por transformación inversa:

$$c_k = \sum_{p=0}^1 \sum_{m=0}^{M-1} b_{2m+p} \rho_{2m+p} e^{j2\pi k(2m+p)/(2M)} = \sum_{p=0}^1 e^{j2\pi kp/(2M)} \sum_{m=0}^{M-1} b_{2m+p} \rho_{2m+p} e^{j2\pi km/M}$$

20 **[0236]** La respuesta se calcula solo para los puntos $0 < k < M-1$ (debido al plegamiento inherente a la FFT) para obtener finalmente:

$$c_k = \sum_{p=0}^1 e^{j\pi kp/M} \text{IFFT}_M \left(b_{2m+p} \rho_{2m+p} \right)$$

25 donde la IFFT_M designa la FFT inversa a M puntos.

[0237] Fórmulas que dan b_{2m+p} y c_k se pueden obtener los esquemas-bloques anteriores que permiten realizar convoluciones con respuestas de doble tamaño usando el mismo tamaño de FFT e IFFT, mediante una memorización en M puntos.

30

[0238] Se obtiene entonces el esquema-bloque de la figura 6. Tal esquema-bloque corresponde a la primera formulación de la densidad espectral b_{2m+p} .

[0239] Arrastrando la función de memorización hacia la salida se puede reducir a la mitad, lo que conduce al diagrama de bloques de la figura 7.

35

[0240] Finalmente, el deslizamiento de la memorización hacia la entrada, que corresponde de hecho a la segunda formulación de la densidad espectral b_{2m+p} , conduce al esquema-bloque de la figura 8 que puede considerarse como una versión dual del esquema-bloque de la figura 7.

40

[0241] Las operaciones puestas en juego en estos esquemas-bloques corresponden a la primera fila (para la FFT) o a la última fila (para la IFFT) de "tweedle factors" no tenidos en cuenta, por principio, en la FFT de M puntos. Teóricamente, estas operaciones digitales deben reiniciarse con cada trama de FFT.

[0242] Sin embargo, cabe señalar que esto no es necesario en la práctica porque, en ausencia de reinicio, el signo de estas operaciones cambia en cada trama, de modo que los dos cambios de signo se compensan.

[0243] Se puede desmontar que tal filtrado es más económico en términos de recursos de memoria en el caso en que se requiera una realización en el flujo.

[0244] Cuando el filtrado corresponde al filtrado adaptado a una señal dada (un impulso recibido por ejemplo), la ganancia compleja del filtro adaptado es el conjugado del espectro del impulso. Si este espectro es obtenido por FFT en $2M$ puntos de un pulso que comienza en $n = 0$ y termina antes de $n = M$, entonces la respuesta temporal del filtro adaptado se coloca en los tiempos negativos.

[0245] Si r_n es el impulso y si x_n es la señal recibida, el filtrado adaptado realiza la siguiente operación, que es el cálculo de la autocorrelación del impulso cuando la señal recibida x_n es igual al impulso r_n , llegando el pico de correlación al inicio del impulso:

$$y_q = \sum_{k=0}^{M-1} r_k^* x_{q+k}$$

[0246] El conjugado de la ganancia compleja del filtro adaptado vale:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_{2m}^* &= \sum_{n=0}^{2M-1} r_n e^{-j2\pi n(2m)/(2M)} = \sum_{n=0}^{M-1} r_n e^{-j2\pi nm/M} + \sum_{n=0}^{M-1} r_{M+n} e^{-j2\pi nm/M} \\ \rho_{2m+1}^* &= \sum_{n=0}^{2M-1} r_n e^{-j2\pi n(2m+1)/(2M)} = \sum_{n=0}^{M-1} r_n e^{-j2\pi n/(2M)} e^{-j2\pi nm/M} - \sum_{n=0}^{M-1} r_{M+n} e^{-j2\pi n/(2M)} e^{-j2\pi nm/M} \end{aligned} \right.$$

[0247] Dado que el impulso es nulo para los tiempos negativos, se obtiene entonces el resultado de dos FFT de M puntos:

$$\rho_{2m}^* = \sum_{n=0}^{M-1} r_n e^{-j2\pi nm/M}$$

$$\rho_{2m+1}^* = \sum_{n=0}^{M-1} r_n e^{-j\pi n/M} e^{-j2\pi nm/M}$$

[0248] Esto da al esquema-bloque de verificación de la figura 9 una visión más simétrica que permite verificar directamente que cada implementación del segundo filtro permite efectivamente lograr el resultado esperado.

[0249] A la entrada del IFFT de la primera vía 1001, se obtiene:

$$\sum_{n=0}^{M-1} \xi_n e^{-j2\pi nm/M} \sum_{k=0}^{M-1} r_k^* e^{+j2\pi km/M} = \sum_{n=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{M-1} \xi_n r_k^* e^{-j2\pi(n-k)m/M} = \sum_{q=0}^{M-1} e^{-j2\pi qm/M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_n r_{\text{mod}(n-q, M)}^*$$

[0250] Se obtiene a la salida de esta IFFT de la primera vía 1001:

$$\sum_{n=0}^{M-1} \xi_n r_{\text{mod}(n-q, M)}^*$$

[0251] Para la segunda vía 1002, a la entrada del IFFT, se obtiene:

$$\sum_{n=0}^{M-1} \xi_n e^{-j\pi n/M} e^{-j2\pi nm/M} \sum_{k=0}^{M-1} r_k^* e^{+j\pi k/M} e^{+j2\pi km/M} = \sum_{k=-n}^{-n+M-1} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_n r_k^* e^{-j\pi(n-k)/M} e^{-j2\pi(n-k)m/M}$$

[0252] Estas últimas ecuaciones se escriben:

$$\sum_{n=k-n+1-M}^n \sum_{n=0}^{M-1} \xi_n r_k^* e^{-j\pi(n-k)/M} e^{-j2\pi(n-k)m/M} = \sum_{q=0}^{M-1} e^{-j\pi q/M} e^{-j2\pi qm/M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_n r_{\text{mod}(n-q, M)}^* \text{signo}(n-q)$$

o

$$\text{signo}(n-q) = \begin{cases} -1 & \text{si } n < q \\ +1 & \text{si } n \geq q \end{cases}$$

15 [0253] Por último, a modo de nota, cabe señalar que, para IFFT normalizadas (por NFFT lo que conduce a FFT * IFFT = 1) una vía realiza el doble de la respuesta de impulso. Esto debe tenerse en cuenta en los coeficientes que deben dividirse por 2, excepto los de la parte FIR. La realización de una IFFT normalizada se obtiene posponiendo el coeficiente de normalización en los coeficientes además del factor 2 mencionado justo antes.

20 [0254] La comparación entre los filtros 18 de las figuras 2 a 5 y los filtros 100 de las figuras 6 a 8 muestra que, funcionalmente, las operaciones aplicadas (incluso si difieren en el orden y/o la naturaleza de la operación) conducen al mismo resultado de salida.

[0255] Los filtros 18 de las figuras 2 a 5 presentan una latencia reducida en comparación con los filtros propuestos en las figuras 6 a 8.

[0256] Más precisamente, la latencia se reduce a la mitad aplicando el principio ilustrado por el montaje de la figura 10.

30 [0257] Dicho principio se describe ahora.

[0258] Se califica FIR_N la realización de un FIR de duración máxima N según el principio presentado anteriormente. Dicha realización presenta, por lo tanto, latencias iguales a 2N. La latencia de un filtro es, en este contexto, el retraso adicional del filtro con respecto al filtro teórico que realiza el mismo filtrado.

35 [0259] La función realizada por el tratamiento FIR_N sobre una señal x_k es la siguiente:

$$y_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n x_{k-n}$$

40 [0260] Tal función puede ser reescrita haciendo aparecer dos partes complementarias de duración N/2 en la respuesta temporal del FIR:

$$y_k = \sum_{n=0}^{-1+N/2} a_n x_{k-n} + \sum_{n=N/2}^{N-1} a_n x_{k-n} = \sum_{n=0}^{-1+N/2} a_n x_{k-n} + \sum_{n=0}^{-1+N/2} a_{n+N/2} x_{(k-N/2)-n}$$

[0261] Tal expresión corresponde a la suma de las dos respuestas, respectivamente primera respuesta y segunda respuesta.

5 **[0262]** La primera respuesta puede interpretarse como el filtrado de las x para los tiempos k a $k - (N/2-1)$ por la primera parte de la respuesta del FIR, mientras que la segunda respuesta puede interpretarse como el filtrado de las x para los tiempos $k - N/2$ a $k - (N-1)$ por la segunda parte de la respuesta del FIR.

[0263] Cada una de estas dos respuestas puede entonces ser realizada por una estructura $FIR_{N/2}$ cuya latencia es N como se ilustra en el montaje de la figura 10.

10

[0264] La aplicación de este principio a los filtros 50 de las figuras 7 a 9 conduce a los filtros 18 de las figuras 2 a 5.

15

[0265] El filtro 18 presenta así una latencia reducida. Dicho filtro se anotará a continuación FR_N .

[0266] La generalización de tal principio conduce a un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada.

20

[0267] El procedimiento comprende al menos una etapa de suministro de una señal de entrada, una etapa de transmisión de la señal de entrada sobre dos vías de tratamiento, una etapa de obtención de una primera señal de salida, una etapa de obtención de una segunda señal de salida, una etapa de aplicación de una transformada de Fourier y una etapa de recombinación.

25

[0268] En la etapa de obtención de la primera señal de salida, se obtiene una primera señal de salida mediante la implementación de las primeras operaciones en la primera vía de tratamiento, con las primeras operaciones que implican al menos la aplicación de un filtrado que implica una transformada de Fourier discreta a $M/2$ puntos en una señal resultante de la señal de entrada, con el filtrado que presenta una latencia de M .

30

[0269] En la etapa de obtención de la segunda señal de salida, se implementan las segundas operaciones en la segunda vía de tratamiento, las segundas operaciones que implican al menos la aplicación de un desplazamiento de $M/2$ puntos a una señal procedente de la señal de entrada y luego la aplicación de un filtrado que implica una transformación de Fourier discreta a $M/2$ puntos en la señal desplazada, el filtrado que presenta una latencia de M .

35

[0270] Durante la etapa de aplicación, se aplica una transformada de Fourier discreta inversa a $M/2$ puntos en la primera señal para obtener M puntos de espectro de la primera señal, siendo M un número entero estrictamente superior a 2.

[0271] Durante la etapa de recombinación, se recombinan los resultados de dos vías de tratamiento.

40

[0272] Según un ejemplo particular, el procedimiento implica una operación de adición de una señal de entrada y de la señal de entrada desplazada de $N/2$ puntos, siendo la señal obtenida después de la adición la señal de entrada de la primera vía de tratamiento.

45

[0273] Según otro ejemplo o como complemento, el procedimiento implica una operación de adición de una señal de entrada y de la señal de entrada desplazada de N puntos, siendo la señal obtenida después de la adición la señal de entrada de la segunda vía de tratamiento.

50

[0274] Según otro ejemplo más, la operación de desplazamiento de N puntos se aplica con la ayuda de dos subunidades 40 y 42.

55

[0275] Según un ejemplo, las primeras operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos en la señal tratada, cada punto de espectro de la señal tratada que corresponde a los índices pares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y que es localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y un tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida.

60

[0276] Según otro ejemplo, las segundas operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, una operación de aplicación de la etapa de aplicación de una transformada de Fourier discreta a M puntos sobre la señal tratada, cada punto de espectro de la señal tratada que corresponde a los índices impares de un análisis espectral a 2^*M puntos de la señal tratada y que es localizado de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número impar comprendido entre 0 y 2^*M-1 , un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta

65

inversa a M puntos sobre los primeros puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y un tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida.

[0277] El principio descrito anteriormente puede generalizarse para obtener una cancelación de la latencia.

5

[0278] La cancelación de la latencia se basa entonces en el siguiente desarrollo:

$$N/2 + N/4 + \dots + 2 + 1 = N - 1.$$

10 [0279] Dado que cada estructura FR_N posee una latencia intrínseca igual a N, tal desarrollo permite proponer una arquitectura de latencia cero como se ilustra en la figura 11.

[0280] El filtro 18 de la figura 11 comprende una pluralidad de etapas correspondientes a cada miembro del desarrollo. La primera etapa corresponde al número 1, la segunda etapa al número 2, ..., la $N/8^a$ etapa al número $N/8$,
15 la $N/4^a$ etapa al número $N/4$ y la $N/2^a$ etapa al número $N/2$.

[0281] El filtro 18 utiliza la capacidad de una etapa para realizar una FFT y una IFFT para la etapa siguiente.

[0282] En esta figura 11, cada k^a vía FR_k está formada por elementos que permiten la realización de un FIR
20 con k coeficientes retardado de k.

[0283] A modo de ejemplo, para la primera etapa, la caja FIR, está realizada por el FIR representado en la figura 12.

25 [0284] Más en concreto, el FIR, incluye un sumador adecuado para sumar una primera vía con una caja z^{-1} seguida de un mezclador de $_1$ y una segunda vía que incluye un mezclador de $_2$, las entradas de las dos vías confundándose.

[0285] El FIR, por lo tanto, se puede designar como $a^0 + a_1z^{-1}$.

30

[0286] En el caso de valores bajos de k, en particular para $k = 2$ y $k = 4$, o incluso para $k = 8$ y $k = 16$, puede ser más pertinente reemplazar la realización de las figuras 11 y 12 por una realización menos intensiva en recursos de cálculo para valores bajos de k.

35 [0287] Por definición, un valor de k es bajo cuando k es inferior a 256.

[0288] En tal caso, la arquitectura de filtro 18 correspondiente es la de la figura 13.

[0289] La arquitectura de filtro 18 difiere especialmente en la primera etapa, ya que la primera etapa incluye
40 elementos que realizan una operación FR_k . Esta operación se representa en la figura 14.

[0290] Tal filtro 18 permite obtener una latencia cero mediante el empleo de recursos complementarios que ahora se evalúan.

45 [0291] Cabe recordar que la implementación de que una operación de FFT o una operación de IFFT de longitud $N = 2^M$ requiere los siguientes recursos, 2M adiciones y M/2 multiplicaciones.

[0292] En las ecuaciones matemáticas, se podrá anotar "ADD" para las sumas y "MUL" para las multiplicaciones.

50

[0293] Como resultado, una estructura de tipo FR_N requiere los siguientes recursos para el filtro 18:

$$2 \times (M-1) + 6 = 2 (M + 2) \text{ adiciones}$$

55 y

$$2 \times (M-1)/2 + 6 = M + 5 \text{ multiplicaciones}$$

[0294] En el caso en que la respuesta temporal del filtro 18, de longitud $N = 2M$, se realiza en forma de FIR
60 hasta el índice $2k-1$, los recursos requeridos comprenden múltiples elementos.

[0295] En particular, los recursos requeridos implican $2 (M+1) + 2 M + \dots + 2 (K+2)$ adiciones para las

estructuras FR_{2k}, 2 x 2K adiciones para la FFT y la IFFT a 2k puntos y 2k - 1 adiciones para la parte FIR.

[0296] Los recursos necesarios para implementar dicho cálculo también implican (M+4) + (M+3) + ... + (K+5) multiplicaciones para las estructuras FR_k, 2 x K/2 multiplicaciones para la FFT y la IFFT a 2^K puntos y 2^K multiplicaciones para la parte FIR.

[0297] Esto da un total, para N = 2^M:

$$\left\{ \begin{aligned} N_{ADIC} &= 2^K + 4K - 1 + 2 \sum_{m=K+2}^{M+1} m = 2^K - 1 + 4K + (M - K)(M + K + 3) \\ N_{MUL} &= 2^K + K + \sum_{m=K+5}^{M+4} m = 2^K + K + \frac{(M - K)(M + K + 9)}{2} \end{aligned} \right.$$

10

[0298] Los recursos requeridos también implican M - K + 2 adiciones correspondientes al sumador final de manera que la implementación de la figura 11 impone los siguientes recursos:

$$\left\{ \begin{aligned} N_{ADIC} &= 2^K - 1 + 12M + 4(M - K)(M + K + 3) + (M - K + 1) \\ N_{MUL} &= 2^K + 3M + \frac{3(M - K)(M + K + 7)}{2} \end{aligned} \right.$$

15

[0299] Tales valores deben compararse con los valores requeridos por una realización con un filtro clásico según el estado de la técnica.

$$\left\{ \begin{aligned} N_{ADIC} &= 2^M - 1 \\ N_{MUL} &= 2^M \end{aligned} \right.$$

20

[0300] Esto permite obtener la siguiente tabla de comparaciones:

[Tabla 1]

M	Número de adiciones implicadas en el caso:		Número de multiplicaciones implicadas en el caso	
	figura 11	estado de la técnica	figura 11	estado de la técnica
4	6	15	25	16
5	67	31	52	32
6	136	63	82	64
7	213	127	115	126
8	298	255	151	256
9	391	511	190	512
10	492	1023	232	1024
11	601	2047	277	2048
12	718	4095	325	4096
13	843	8191	376	8192
14	978	16383	430	16384
15	1117	32767	487	32768
16	1266	65535	547	65536

- 5 **[0301]** Debe observarse que hay un buen compromiso entre ADD y MUL para $K = 6$. Cabe señalar que, si codificamos los primeros 64 coeficientes en FIR clásico, esta técnica es ventajosa en términos de recursos computacionales en comparación con el FIR clásico cuando el tamaño de la respuesta supera 64 (128 y más) para los multiplicadores y 256 (512 y más) para los sumadores. Sin embargo, la diferencia es tolerable entre 128 y 512 para los sumadores que no son grandes operadores en comparación con los multiplicadores.
- 10 **[0302]** El filtro 18 propuesto presenta así una latencia cero.
- [0303]** El filtro 18 se basa en ambos casos en una estructura de muñeca rusa en la que cada muñeca rusa es una etapa de cálculo utilizada por la FFT para una etapa y la IFFT para otra.
- 15 **[0304]** El filtro 18 utiliza así la latencia ventajosamente para realizar un retraso asegurando al final una latencia cero para el filtrado total realizado.
- [0305]** De este principio, se puede derivar un procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada, comprendiendo el procedimiento al menos una etapa de suministro, una etapa de transmisión, una etapa de obtención de una primera señal de salida, una etapa de obtención de una segunda señal de salida y una etapa de aplicación.
- 20 **[0306]** Durante la etapa de suministro, se proporciona una señal de entrada.
- [0307]** Durante la etapa de transmisión, se transmite la señal de entrada por dos vías de tratamiento.
- 25 **[0308]** Para obtener la primera señal de salida, la etapa de obtención correspondiente comprende la implementación de las primeras operaciones en la primera vía de tratamiento, las primeras operaciones que implican al menos la aplicación de una transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada, siendo el entero p mayor o igual a 1.
- 30 **[0309]** Tal etapa de obtención corresponde al uso de una latencia de valor $M/2^p$ para generar un retraso que permita utilizar los cálculos de FFT o IFFT para otra etapa de forma sincronizada.
- [0310]** Para obtener la segunda señal de salida, la etapa de obtención correspondiente comprende la implementación de segundas operaciones en la segunda vía de tratamiento, las segundas operaciones que implican al menos la aplicación de un desplazamiento de $M/2$ puntos a una señal procedente de la señal de entrada y luego la aplicación de una transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos en la señal desplazada.
- 35 **[0311]** Esta etapa de obtención se puede interpretar como el uso de una latencia de valor $M/2^p$ para generar un retraso que permita utilizar los cálculos de FFT o IFFT para otra etapa de forma sincronizada.
- 40 **[0312]** Durante la etapa de aplicación, se aplica una transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre la primera señal para obtener M puntos de espectro de la primera señal, siendo M un número entero estrictamente superior a 2, siendo la etapa de aplicación ejecutada por la suma de los resultados de dos vías de tratamiento.
- 45 **[0313]** Preferentemente, el procedimiento se implementa, y en particular al menos desde la etapa de aplicación, para una pluralidad de valores de p .
- [0314]** En particular, entre cada iteración, el entero p aumenta en incrementos de 1.
- 50 **[0315]** Según un ejemplo, p es inferior o igual al entero p_0 , siendo el entero p_0 un entero verificador $M/2^{p_0} = 1$.
- [0316]** Según un ejemplo, las primeras operaciones implican un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, la señal en la que la transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada es la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral a $2 * M/2^p$ puntos de la señal tratada y siendo localizada de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y $2 * M/2^p - 1$. Las primeras operaciones comprenden, además, un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a $M/2^p$ puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y un tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida.
- 55 **[0317]** Según otro ejemplo o como complemento, las segundas operaciones implican un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, la señal en la que la transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada es la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro
- 60 **[0317]** Según otro ejemplo o como complemento, las segundas operaciones implican un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, la señal en la que la transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada es la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro
- 65 **[0317]** Según otro ejemplo o como complemento, las segundas operaciones implican un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, la señal en la que la transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada es la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro

de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a $2^* M/2^p$ puntos de la señal tratada y siendo localizada de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y $2^* M/2^p - 1$. Las segundas operaciones comprenden, además, un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener segundos puntos seleccionados, una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a M puntos en los
 5 segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y un tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida.

[0318] Los procedimientos de filtrado mencionados anteriormente permiten en cada uno de los casos obtener una latencia cero.

10

[0319] En resumen, cuando las longitudes de las respuestas temporales de un filtro de tipo FIR son muy grandes, la realización del filtrado se vuelve problemática o incluso imposible teniendo en cuenta la gran cantidad de recursos que esto implica, sobre todo si el FIR debe ser programable.

15 **[0320]** Para evitar este problema, dicha operación se realiza en el espectro. Para ello, pasamos del dominio de los tiempos al de las frecuencias por transformación de Fourier, la operación de filtrado se vuelve entonces multiplicativa, luego volvemos al dominio de los tiempos por transformación de Fourier inversa.

20 **[0321]** Al hacerlo, para una longitud de respuesta temporal igual a N , estas arquitecturas introducen por principio un retraso igual a $2N$ períodos de muestreo con respecto a la respuesta del FIR teórico. Dichas estructuras se denominarán estructura básica.

25 **[0322]** Uno de los filtros propuestos se deriva de las estructuras de FFT e IFFT de base. De manera esquemática, la estructura propuesta consiste en descomponer la respuesta temporal del FIR en tramos de tamaños $2, 2, 4, 8, 16, \dots, 2^{N-1}$ cuya suma es igual a 2^N . En esta descomposición, los tramos más largos corresponden a los dominios temporales más retrasados de la respuesta temporal.

30 **[0323]** Cada tramo está asegurado por una subestructura de latencia igual a la duración de la respuesta que la subestructura asegura de modo que su latencia de realización introduce naturalmente el retraso asociado a su posición en la respuesta.

35 **[0324]** Las subestructuras se realizan mediante la combinación de dos estructuras de base de tamaño medio y desplazamiento de su media latencia; esto permite reducir a la mitad la latencia con respecto a las estructuras de base.

40 **[0325]** Las arquitecturas propuestas permiten resolver el problema intrínseco de la latencia de las estructuras básicas; gracias a una fuerte optimización que explota diversas descomposiciones de la FFT y la IFFT, conserva la característica de las arquitecturas iniciales, basadas en FFT e IFFT, de requerir pocos recursos de cálculo (a pesar de cierta inflación en comparación con estas arquitecturas iniciales) al tiempo que recupera la característica de las arquitecturas clásicas de FIR de no presentar latencias.

45 **[0326]** Gracias a la reducción de los recursos que permiten las arquitecturas antes mencionadas, la arquitectura propuesta permite el uso de FIR de grandes tamaños en cualquier aplicación que requiera las latencias de realización más bajas posibles.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de filtrado de una señal de entrada digital muestreada a una frecuencia de muestreo para obtener una señal filtrada, el procedimiento es implementado por un sistema, siendo el sistema un radar, un sistema de comunicación, un sistema de contramedidas o un sistema de detección, comprendiendo el sistema una antena y una cadena de tratamiento, comprendiendo el procedimiento al menos una etapa de:
- recepción de una señal de entrada por la antena,
 - muestreo de la señal de entrada,
 - 10 - transmisión de la señal de entrada en dos vías de tratamiento,
 - obtención de una primera señal de salida mediante la implementación de primeras operaciones por la cadena de tratamiento en la primera vía de tratamiento, las primeras operaciones que implican al menos la aplicación de una transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal resultante de la señal de entrada, siendo el número entero p superior o igual a 1 y la aplicación de una transformada de Fourier inversa discreta a $M/2^p$ puntos sobre
 - 15 la primera señal para obtener M puntos de espectro de la primera señal, siendo M un número entero estrictamente superior a 2,
 - obtención de una segunda señal de salida mediante la ejecución de segundas operaciones por la cadena de tratamiento en la segunda vía de tratamiento, con las segundas operaciones que implican al menos la aplicación de un desplazamiento de $M/2$ puntos a una señal procedente de la señal de entrada y luego la aplicación de una
 - 20 transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos en la señal desplazada, y
 - suma de los resultados de las dos vías de tratamiento.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procedimiento implica una implementación al menos de la etapa de aplicación para una pluralidad de valores de p .
- 25 3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el entero p es inferior o igual al entero p_0 , siendo el entero p_0 un entero verificador $M/2^{p_0} = 1$.
4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, en el que el entero p aumenta en incrementos de 1.
- 30 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las primeras operaciones comprenden un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, siendo la señal sobre la que se aplica la transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal resultante de la señal de entrada la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices pares de un análisis espectral a 2^*
- 35 $M/2^p$ puntos de la señal tratada y siendo localizada de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y $2^* M/2^p - 1$, comprendiendo las primeras operaciones además:
- un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener los primeros puntos seleccionados,
 - 40 - una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a $M/2^p$ puntos en los primeros puntos seleccionados para obtener una primera señal, y
 - un tercer tratamiento de la primera señal para obtener una primera señal de salida, y
- 45 las segundas operaciones que implican un primer tratamiento de la señal de entrada para obtener una señal tratada, siendo la señal sobre la que se aplica la transformada de Fourier discreta a $M/2^p$ puntos sobre una señal procedente de la señal de entrada la señal tratada, correspondiendo cada punto de espectro de la señal tratada a los índices impares de un análisis espectral a $2^* M/2^p$ puntos de la señal tratada y siendo localizada de manera biyectiva por un índice k , siendo k un número par comprendido entre 0 y $2^* M/2^p - 1$,
- 50 las segundas operaciones que comprenden además:
- un segundo tratamiento de los puntos de espectro de la señal tratada para obtener segundos puntos seleccionados,
 - una aplicación de la transformada de Fourier discreta inversa a $M/2^p$ puntos en los segundos puntos seleccionados para obtener una segunda señal, y
 - 55 - un tercer tratamiento de la segunda señal para obtener una segunda señal de salida.
6. Sistema, siendo el sistema un radar, un sistema de comunicación, un sistema de contramedidas o un sistema de detección, el sistema que comprende una antena y una cadena de tratamiento, estando el sistema adaptado para implementar el procedimiento según cualquiera según las reivindicaciones 1 a 5.
- 60

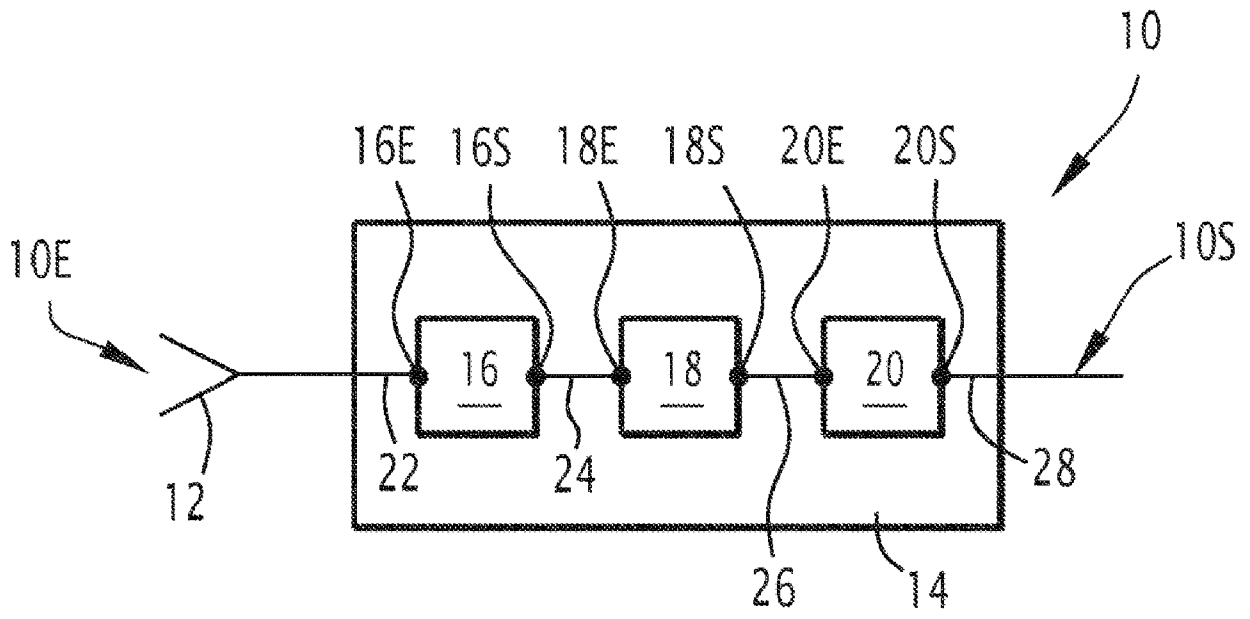


FIG.1

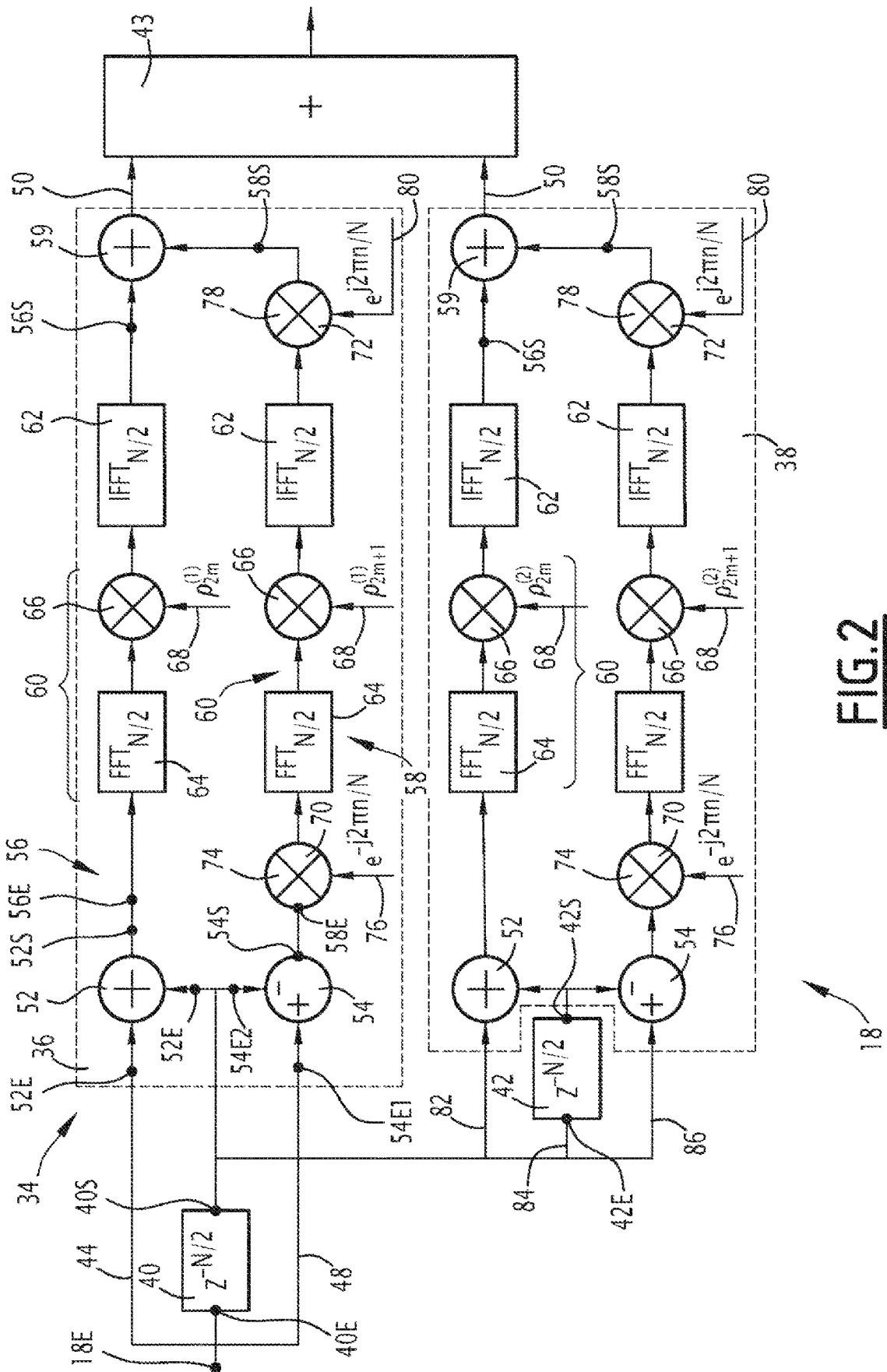


FIG. 2

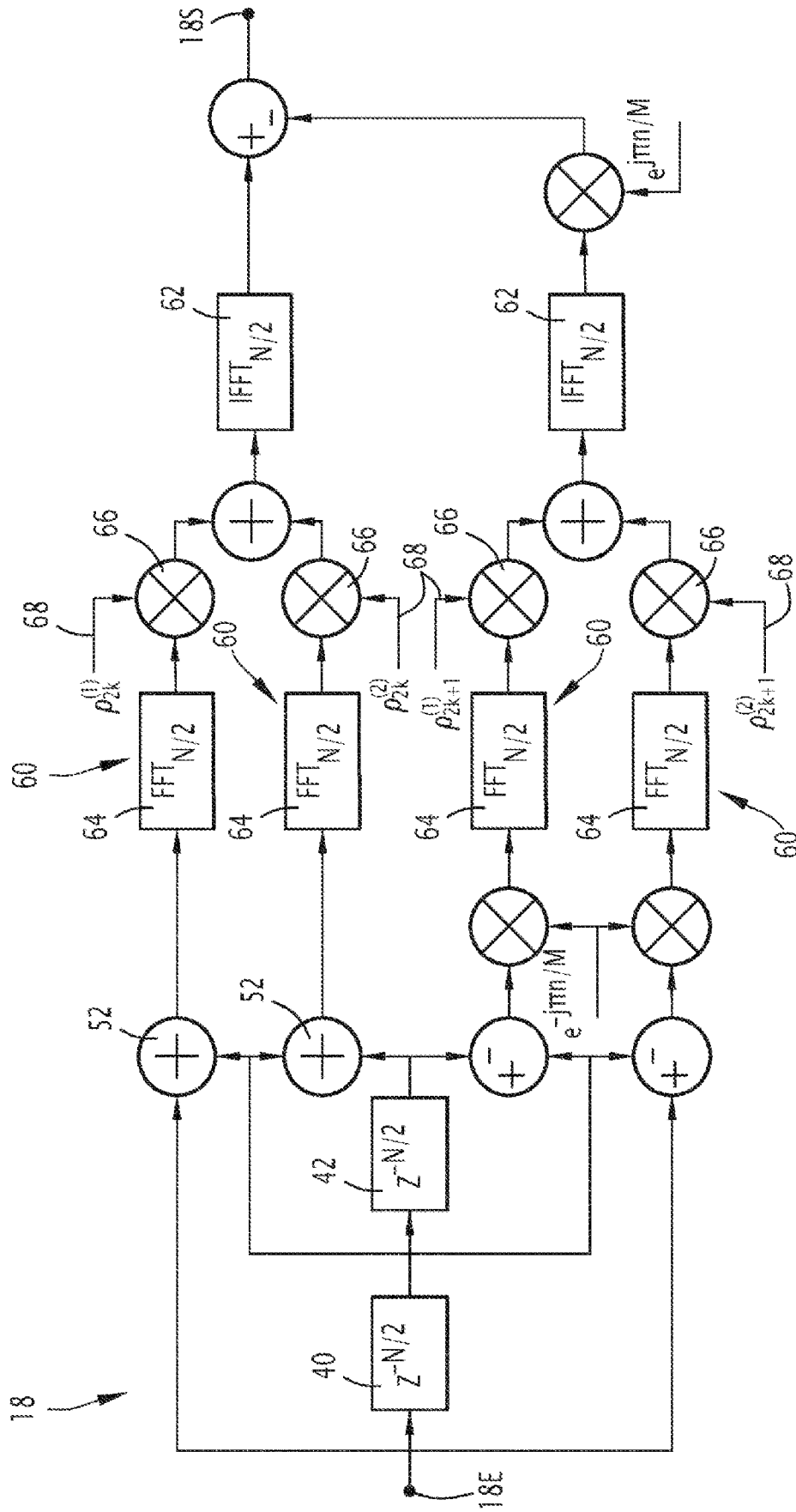


FIG. 3

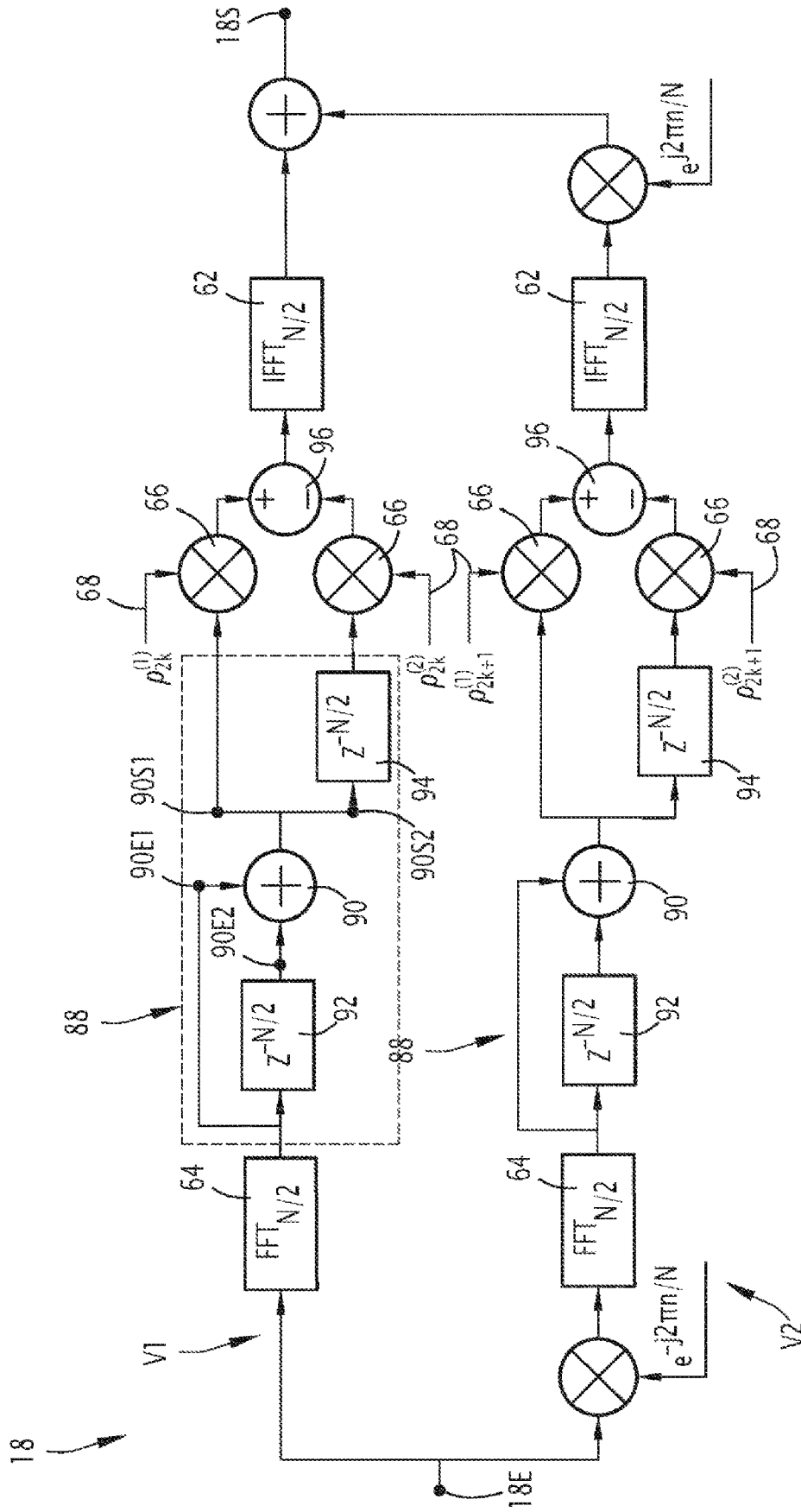


FIG. 4

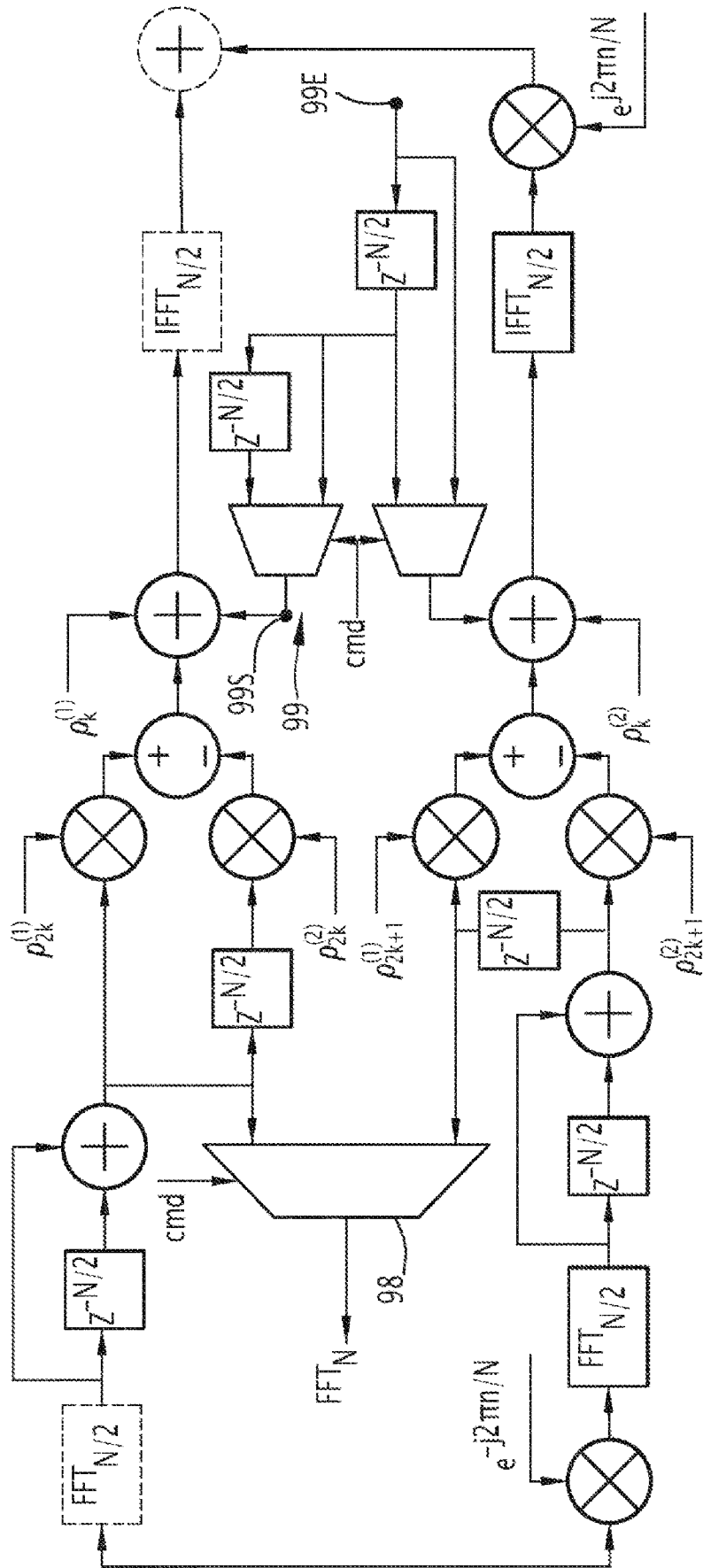


FIG. 5

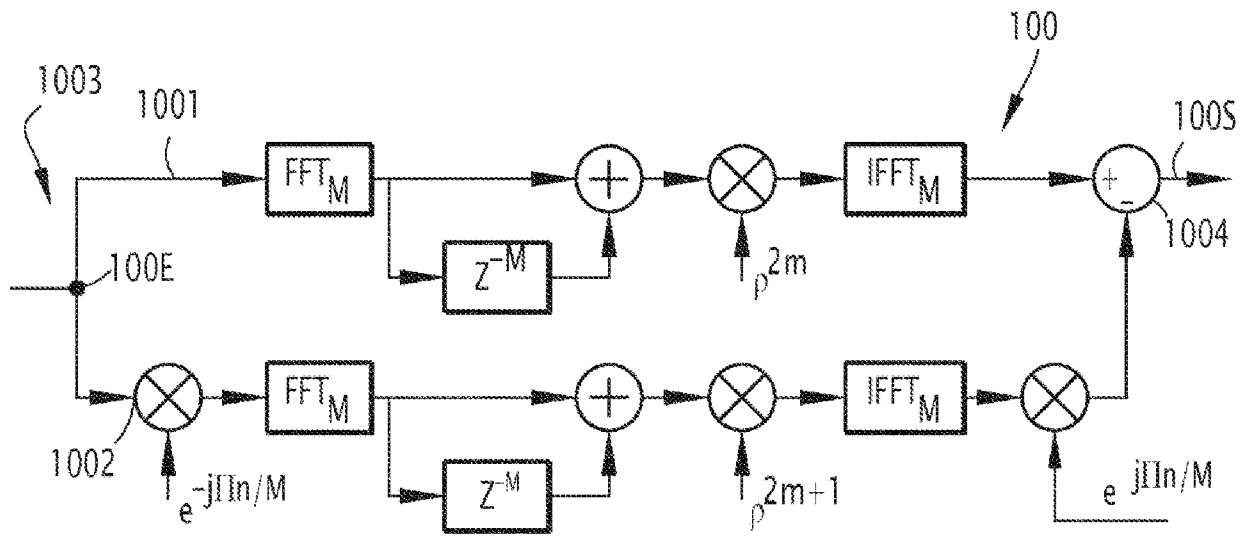


FIG. 6

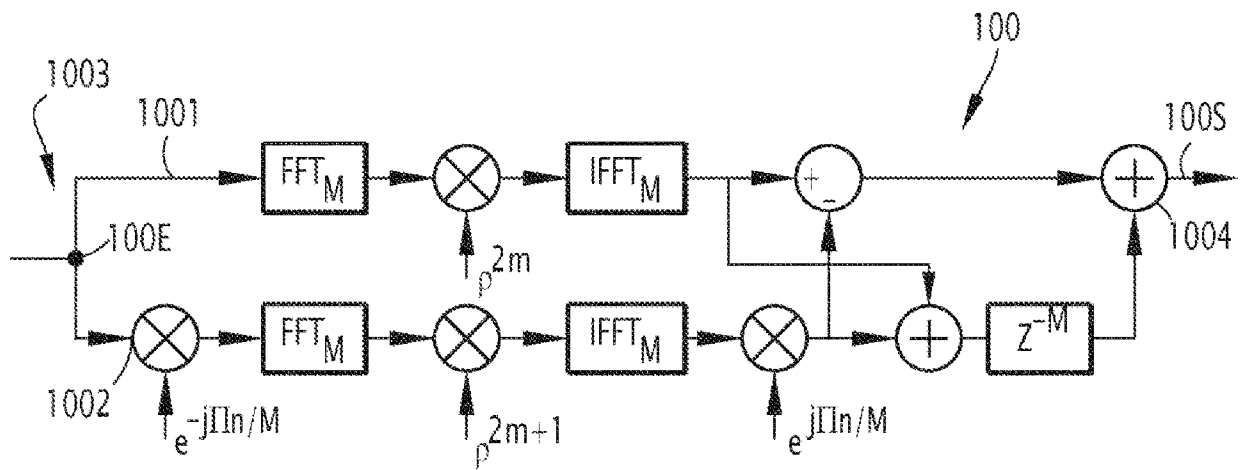


FIG. 7

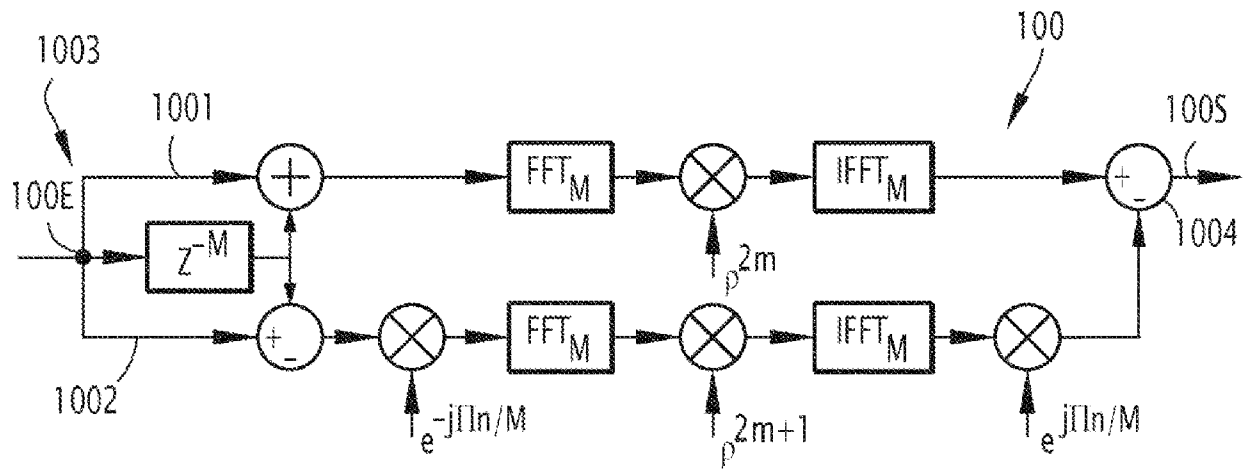


FIG. 8

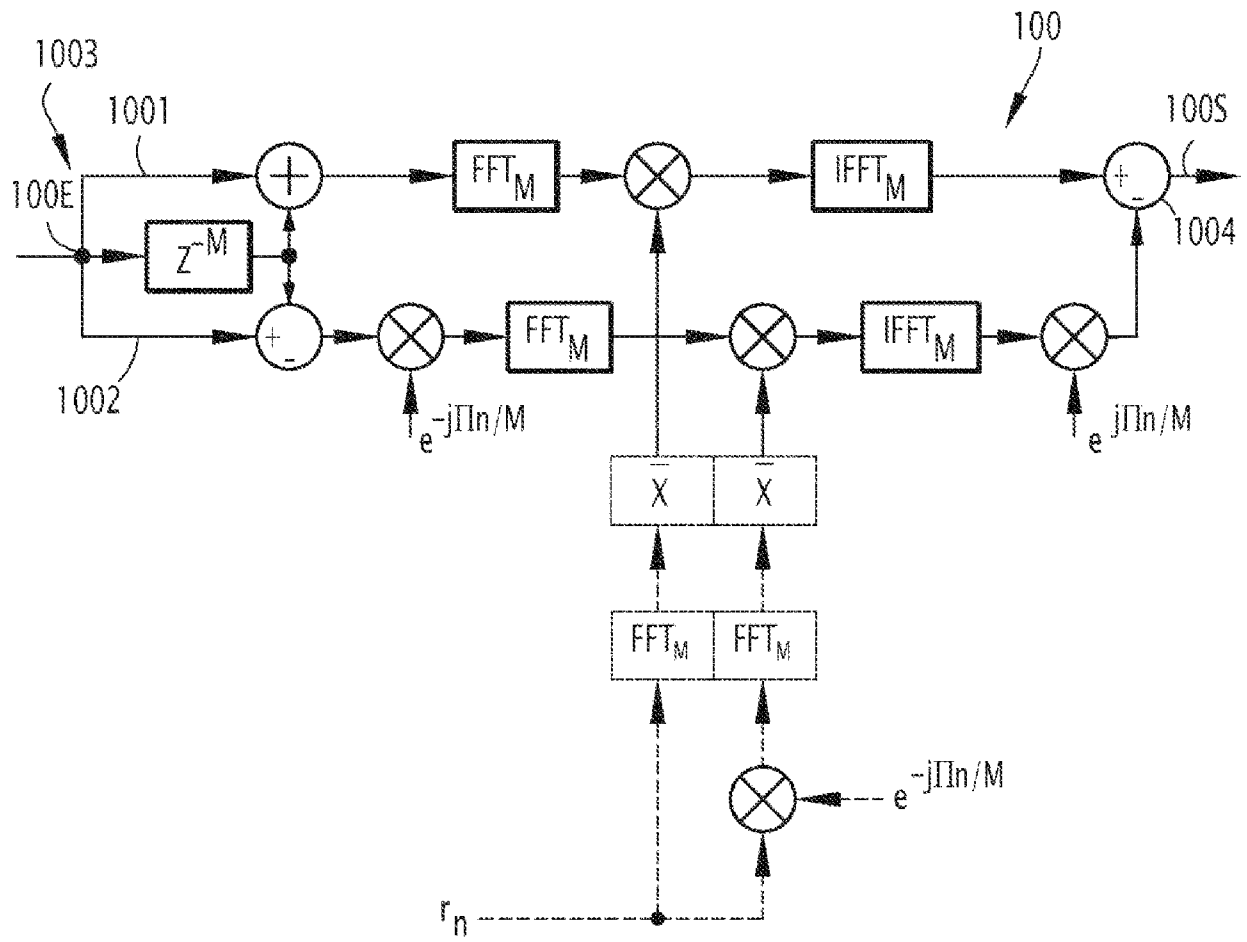
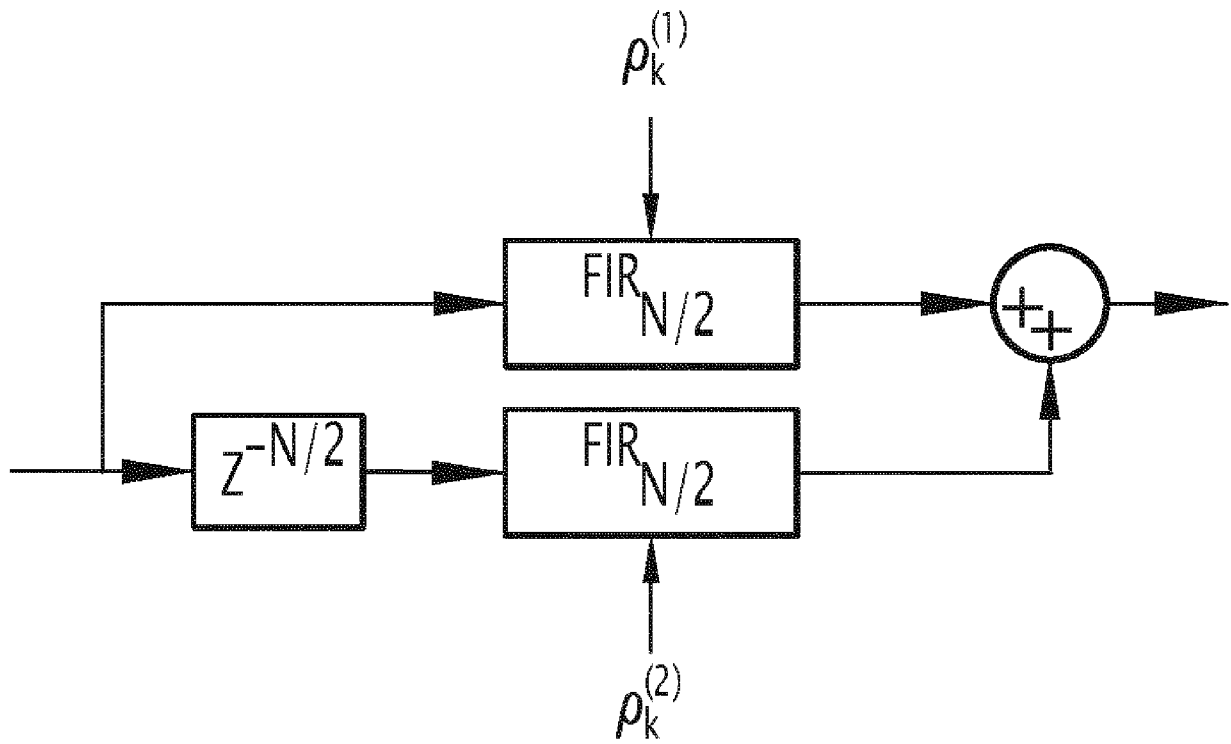


FIG. 9

**FIG.10**

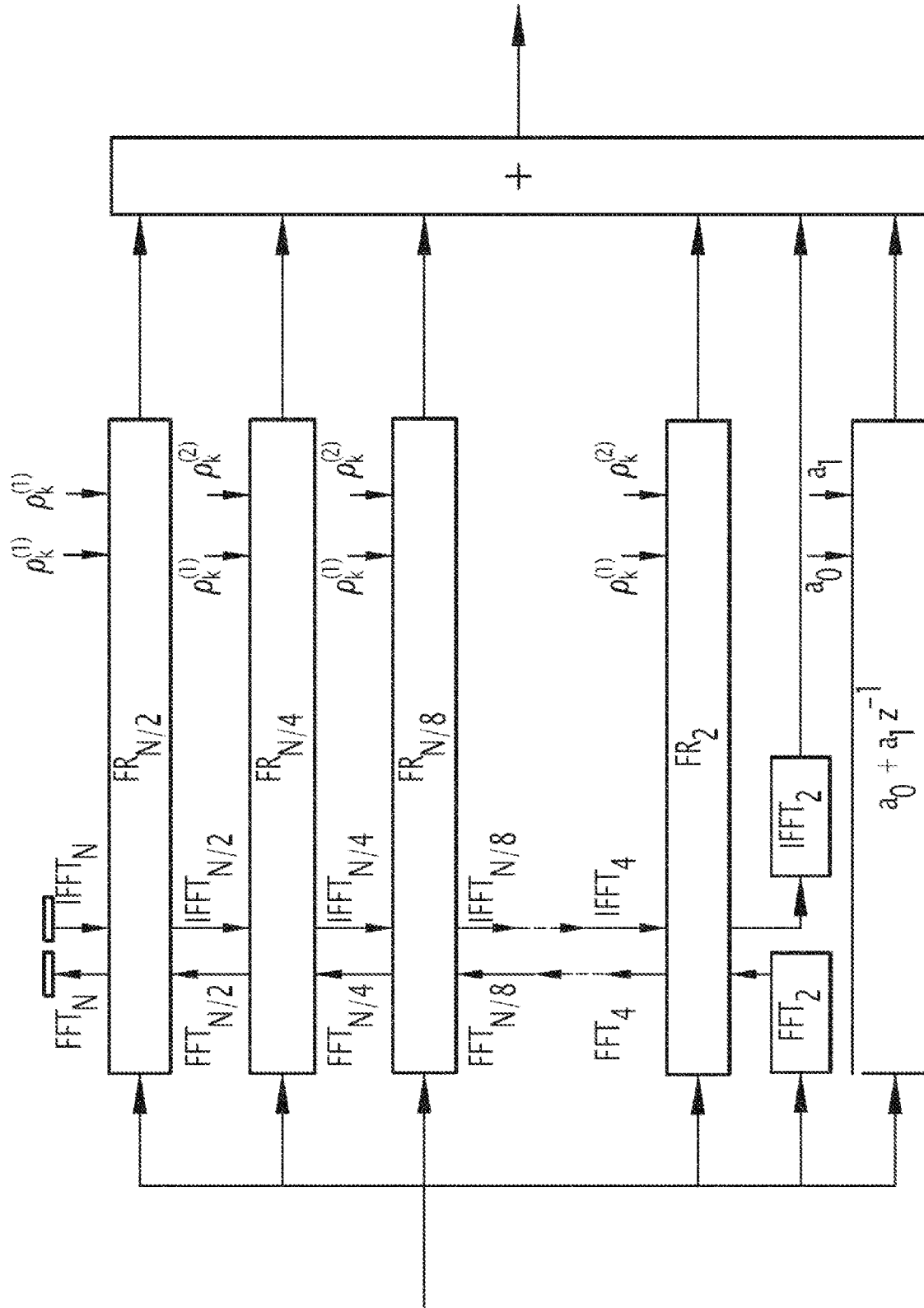


FIG.11

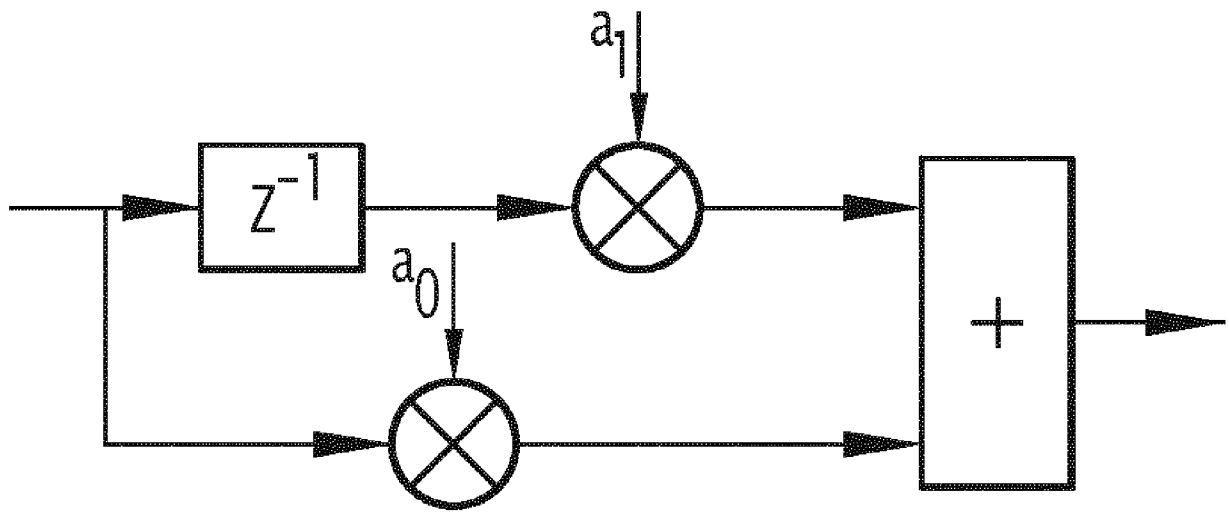


FIG.12

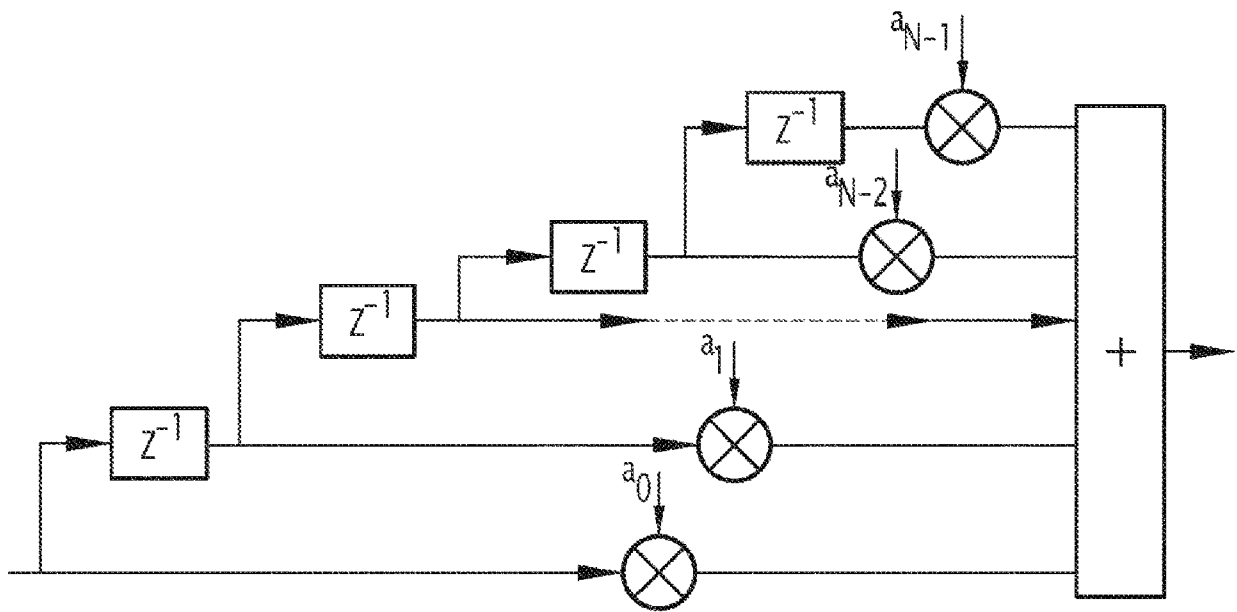


FIG.14