

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 841**

51 Int. Cl.:

A61B 5/372 (2011.01)

A61B 5/374 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2020** E 20187999 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023** EP 3925537

54 Título: **Procedimiento y sistema para procesar una señal de electroencefalograma**

30 Prioridad:

16.06.2020 US 202016903343

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

09.04.2024

73 Titular/es:

**A-NEURON ELECTRONIC CORP. (100.0%)
5F., No. 38, Gaotie 1st Rd.
Zhubei City, Hsinchu 30273, TW**

72 Inventor/es:

**CHANG, CHIA-CHI;
LIN, PEI-CHEN y
HSIN, YUE-LOONG**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 964 841 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para procesar una señal de electroencefalograma

ANTECEDENTES

Campo técnico

- 5 La divulgación se refiere a un procedimiento para procesar una señal, y en particular se refiere a un procedimiento para procesar una señal de electroencefalografía (EEG).

Descripción de técnica relacionada

10 Los procedimientos actuales y comúnmente utilizados para medir la actividad cerebral son: la electrocorticografía (ECoG) y la electroencefalografía (EEG). Las señales de ECoG y EEG se conocen comúnmente como señales de ondas cerebrales, y los dos principios de generación de las señales son prácticamente los mismos. La diferencia entre una señal ECoG y una señal EEG es que la medición de la señal ECoG utiliza un procedimiento semiinvasivo en el que se abre el cráneo de un paciente y se colocan electrodos planos en la corteza cerebral y bajo de la subdural, y la medición de la señal EEG utiliza un procedimiento no invasivo en el que la onda cerebral se mide en el cuero cabelludo.

15 Las señales de ondas cerebrales se utilizan sobre todo para diagnosticar la epilepsia. Durante la aparición de la epilepsia, de acuerdo con los rasgos de la fisiopatología de la epilepsia y las características de las señales de las ondas cerebrales, la epilepsia puede dividirse a grandes rasgos en las siguientes fases: interictal, preictal, fase irregular y fase de estallido. La fase entre dos convulsiones se denomina "interictal", y "preictal", "fase irregular" y "fase de estallido" pertenece a la fase ictal de aparición de la epilepsia. La fase irregular es de gran importancia para el diagnóstico y la evaluación de la epilepsia, pero los algoritmos convencionales son menos capaces de detectar eficazmente estas características. La razón es que el funcionamiento neurofisiológico y la compleja interacción entre las células excitadoras y las células supresoras permiten que las señales de las ondas cerebrales presenten características no estacionarias, de modo que las señales de las ondas cerebrales muestran cambios irregulares de frecuencia y amplitud, difíciles de interpretar con precisión para los modelos convencionales de determinación de algoritmos.

20 El Documento US 2002/0103512 A1 divulga un procedimiento y un aparato para predecir y controlar anomalías neurológicas en seres humanos, tales como convulsiones u otras alteraciones cerebrales. El sistema se basa en una estrategia de control multinivel.

25 Otros procedimientos y aparatos de acuerdo con el estado de la técnica se describen, por ejemplo, en los documentos EP3656299A1 y CN108143409A.

Sumario

La presente invención se expone en las reivindicaciones independientes, respectivamente. Las realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

35 La divulgación proporciona un procedimiento y un sistema para procesar una señal de electroencefalografía (EEG), que puede encontrar con precisión una forma de onda neuronal especificada en la señal EEG.

40 El procedimiento para procesar la señal EEG de la divulgación realiza los siguientes pasos por medio de un procesador. Se obtiene la señal EEG. Se realiza una detección de picos en la señal EEG para obtener una forma de onda de distribución de picos. Se realiza un análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal EEG para obtener múltiples formas de onda de distribución de energía. Se realiza un análisis de complejidad de la señal EEG para obtener una forma de onda de cambio de complejidad. Se obtiene un resultado de determinación de una forma de onda neuronal especificada basándose en la forma de onda de distribución de picos, las formas de onda de distribución de energía y la forma de onda de cambio de complejidad, en la que el resultado de determinación incluye un intervalo de tiempo. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de distribución de picos se ajusta a una regla de distribución de picos de la forma de onda neuronal especificada. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de cada forma de onda de distribución de energía se ajusta a una regla de cambio de energía de la forma de onda neuronal especificada. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de cambio de complejidad se ajusta a una regla de cambio de complejidad de la forma de onda neuronal especificada.

5 En una realización de la divulgación, el paso de realizar la detección de picos en la señal EEG para obtener la forma de onda de distribución de picos incluye los siguientes pasos. La señal EEG se divide en múltiples intervalos de muestreo utilizando una anchura de ventana. Se detecta un número de picos incluido en cada intervalo de muestreo. En un diagrama de forma de onda de distribución de picos, el número de picos incluido en cada intervalo de muestreo se registra siguiendo una serie temporal, obteniéndose de esta manera la forma de onda de distribución de picos.

10 En una realización de la divulgación, una vez obtenida la forma de onda de distribución de picos, el procedimiento incluye además los siguientes pasos. Se determina si los números de picos en intervalos de unidades múltiples de la forma de onda de distribución de picos se ajustan a la regla de distribución de picos. En dos intervalos unitarios adyacentes de una serie temporal, si el número de picos de un intervalo unitario posterior disminuye en comparación con el número de picos de un intervalo unitario anterior, se determina que el intervalo unitario posterior es conforme con la regla de distribución de picos.

15 En una realización de la divulgación, el paso de realizar el análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal EEG para obtener las formas de onda de distribución de energía incluye los siguientes pasos. Se realiza una descomposición empírica de modos (EMD) en la señal EEG para obtener múltiples señales de modos intrínsecos. Se calcula una frecuencia instantánea de cada señal de modo intrínseco en cada uno de los múltiples intervalos de muestreo para registrar la frecuencia instantánea correspondiente a cada intervalo de muestreo siguiendo una serie temporal en un diagrama de distribución de frecuencia instantánea correspondiente a cada señal de modo intrínseco, obteniendo de esta manera múltiples formas de onda de distribución de frecuencia instantánea correspondientes respectivamente a las múltiples señales de modo intrínseco. Se realiza un cálculo de energía respectivamente en las múltiples señales de frecuencia instantánea para obtener las múltiples formas de onda de distribución de energía.

20

25 En una realización de la divulgación, después de que se ha obtenido la forma de onda de distribución de energía, el procedimiento incluye además los siguientes pasos. Se determina si una densidad de energía de cada forma de onda de distribución de energía en intervalos de unidades múltiples se ajusta a la regla de cambio de energía. En dos intervalos unitarios adyacentes en una serie temporal de cada una de las formas de onda de distribución de energía al mismo tiempo, si una densidad de energía en un intervalo unitario posterior disminuye en comparación con una densidad de energía en un intervalo unitario anterior, se determina que el intervalo unitario posterior se ajusta a la regla de cambio de energía.

30 En una realización de la divulgación, el paso de realizar el análisis de complejidad en la señal EEG para obtener la forma de onda de cambio de complejidad incluye los siguientes pasos. La señal EEG se divide en múltiples intervalos de muestreo utilizando una anchura de ventana. Se calcula la complejidad de cada intervalo de muestreo. En un diagrama de forma de onda de complejidad, la complejidad correspondiente a cada intervalo de muestreo se registra siguiendo una serie temporal, obteniéndose de esta manera una forma de onda de complejidad. La forma de onda de complejidad se divide en varios intervalos de cálculo utilizando otra anchura de ventana. Se detecta un número de picos incluido en cada intervalo de cálculo. En un diagrama de distribución de picos de complejidad, el número de picos incluido en cada intervalo de cálculo se registra siguiendo una serie temporal, obteniéndose de esta manera la forma de onda de cambio de complejidad.

35

40 En una realización de la divulgación, después de obtener la forma de onda de cambio de complejidad, el procedimiento incluye además el siguiente paso. Se determina si el número de picos en intervalos de unidades múltiples de la forma de onda de cambio de complejidad se ajusta a la regla de cambio de complejidad. Un intervalo de unidades en el que el número de picos es mayor que un valor preestablecido se determina como conforme a la regla de cambio de complejidad.

45 En una realización de la divulgación, la forma de onda neural especificada es una forma de onda de fase irregular para determinar el inicio de la epilepsia.

50 El sistema para procesar una señal de EEG de la divulgación incluye: un dispositivo de salida, un dispositivo de almacenamiento y un procesador. El dispositivo de almacenamiento incluye múltiples fragmentos de código. El procesador está acoplado al dispositivo de salida y al dispositivo de almacenamiento. El procesador ejecuta los fragmentos de código para: obtener la señal EEG; realizar una detección de picos en la señal EEG para obtener una forma de onda de distribución de picos; realizar un análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal EEG para obtener múltiples formas de onda de distribución de energía; realizar un análisis de complejidad en la señal EEG para obtener una forma de onda de cambio de complejidad; y obtener un resultado de determinación de una forma de onda neural especificada basada en la forma de onda de distribución de picos, las formas de onda de distribución de energía y la forma de onda de cambio de complejidad, en la que el resultado de determinación incluye un intervalo de tiempo. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de distribución de picos se ajusta a una regla de distribución de picos de la forma de onda neuronal especificada. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de cada forma de onda de distribución de energía se ajusta a una regla de cambio de ener-

55

gía de la forma de onda neural especificada. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de cambio de complejidad se ajusta a una regla de cambio de complejidad de la forma de onda neuronal especificada.

Basándose en lo anterior, la divulgación puede detectar con precisión la fase irregular en la señal EEG combinando la detección de picos, el análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea y el análisis de complejidad.

- 5 Para hacer que sean más comprensibles lo que se ha mencionado más arriba y otras características de la divulgación, a continuación se describen en detalle varias realizaciones acompañadas de dibujos.

Breve descripción de los dibujos

- la figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema para procesar una señal de electroencefalograma (EEG) de acuerdo con una realización de la divulgación.
- 10 la figura 2 es un diagrama de bloques de un módulo de procesamiento de señales de EEG de acuerdo con una realización de la divulgación.
- la figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una realización de la divulgación.
- 15 la figura 4 es un diagrama de forma de onda de una señal de EEG de acuerdo con una realización de la divulgación.
- la figura 5 es un diagrama de forma de onda de distribución de picos de acuerdo con una realización de la divulgación.
- la figura 6 es un diagrama de forma de onda de una señal de modo intrínseco de acuerdo con una realización de la divulgación.
- 20 la figura 7 es un diagrama de forma de onda de distribución de frecuencia instantánea de acuerdo con una realización de la divulgación.
- la figura 8 es un diagrama de forma de onda de distribución de energía de acuerdo con una realización de la divulgación.
- 25 la figura 9 es un diagrama de forma de onda de complejidad de acuerdo con una realización de la divulgación.
- la figura 10 es un diagrama de distribución de picos de complejidad de acuerdo con una realización de la divulgación.

Descripción detallada de las realizaciones divulgadas

- 30 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema para procesar una señal de electroencefalograma (EEG) de acuerdo con una realización de la divulgación. En la figura 1, un sistema para procesar una señal de EEG 100 es un dispositivo para analizar una señal de EEG. El sistema para procesar una señal de EEG 100 puede ser un dispositivo informático tal como un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un teléfono inteligente, etc. El sistema para procesar una señal de EEG 100 incluye un procesador 110, un dispositivo de almacenamiento 120 y un dispositivo de salida 130.
- 35 El procesador 110 es, por ejemplo, una unidad central de procesamiento (CPU), una unidad de procesamiento físico (PPU), un microprocesador programable, un chip de control integrado, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), u otros dispositivos similares.
- El dispositivo de almacenamiento 120 es, por ejemplo, cualquier tipo de memoria de acceso aleatorio (RAM) fija o extraíble, memoria de sólo lectura (ROM), memoria flash, disco duro, otros dispositivos similares, o una combinación
- 40 de los dispositivos mencionados. En el dispositivo de almacenamiento 120 se almacenan múltiples fragmentos de código. Los fragmentos de código son ejecutados por el procesador 110 después de ser instalados para implementar el procedimiento de procesamiento de la señal de EEG que se describirá más adelante.
- El dispositivo de salida 130 es, por ejemplo, una pantalla. Cuando el procesador 110 obtiene un resultado de determinación final, el resultado de determinación puede transmitirse al dispositivo de salida 130. Además, el procesador
- 45 110 también puede almacenar el resultado de la determinación en el dispositivo de almacenamiento 120 o transmitir el resultado de la determinación a un servidor de un centro médico por medio de un dispositivo de comunicación (no mostrado) vía red.

La figura 2 es un diagrama de bloques de un módulo de procesamiento de señales de EEG de acuerdo con una realización de la divulgación. El módulo de procesamiento de señales de EEG que se muestra en la figura 2 se compone, por ejemplo, de múltiples fragmentos de código de programa almacenados en el dispositivo de almacenamiento 120. El módulo de procesamiento de señales de EEG incluye un módulo de detección de picos 210, un módulo de análisis de energía 220, un analizador de complejidad 230 y un módulo de reconocimiento 240. El módulo de detección de picos 210 está configurado para realizar una detección de picos en la señal de EEG. El módulo de análisis de energía 220 está configurado para realizar un análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal de EEG. El analizador de complejidad 230 está configurado para realizar un análisis de complejidad de la señal de EEG. El módulo de reconocimiento 240 está configurado para obtener un intervalo de tiempo de una forma de onda neuronal especificada basándose en una forma de onda de distribución de picos, formas de onda de distribución de energía y una forma de onda de cambio de complejidad. La forma de onda neural especificada es una forma de onda de fase irregular para determinar el inicio de la epilepsia.

La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una realización de la divulgación. Se hace referencia a la figura 3, en el paso S305, se obtiene la señal de EEG. Por ejemplo, la señal de EEG de un sujeto se extrae utilizando un instrumento de medición de EEG, como se muestra en la figura 4. La figura 4 es un diagrama de forma de onda de una señal de EEG de acuerdo con una realización de la divulgación. Una señal de EEG $x(t)$ obtenida en este momento es una señal en el dominio del tiempo. A continuación, el sistema de procesamiento de una señal de EEG 100 recibe la señal de EEG $x(t)$ del instrumento de medición de EEG, y el procesador 110 analiza la señal de EEG $x(t)$ por medio del módulo de procesamiento de señales de EEG (que se muestra en la figura 2).

Tomando el intervalo de tiempo de la forma de onda neuronal especificada como una fase irregular, el módulo de procesamiento de señal de EEG analiza la señal de EEG preprocesada $x(t)$ por medio del módulo de detección de picos 210, el módulo de análisis de energía 220 y el analizador de complejidad 230. Aquí, el preprocesamiento es, por ejemplo, procesamiento de filtrado de paso de banda, procesamiento de filtrado de ruido, procesamiento de remuestreo, procesamiento de segmentación de series temporales, etc.

El módulo de detección de picos 210, el módulo de análisis de energía 220 y el analizador de complejidad 230 calculan respectivamente características de forma de onda no estacionaria (características de fase irregular) con una ventana de series temporales preestablecida. Después, el módulo de detección de picos 210, el módulo de análisis de energía 220 y el analizador de complejidad 230 transmiten los resultados obtenidos al módulo de reconocimiento 240. El módulo de reconocimiento 240 interpreta la forma de onda neuronal especificada y finalmente emite un resultado. Las características de la forma de onda no estacionaria incluyen: mayor densidad de amplitud (es decir, menos oscilaciones, mayor amplitud), desviación de frecuencia (banda de frecuencia más ancha, desviación de frecuencia dominante), mayor separación de la densidad de la forma de onda (en relación con el inicio) y separaciones incoherentes (el desorden es demasiado grande).

Los siguientes Paso S310, Paso S315, y Paso S320 se utilizan para ilustrar respectivamente el módulo de detección de picos 210, el módulo de análisis de energía 220, y el analizador de complejidad 230. Los pasos pueden realizarse simultáneamente o por separado, y la secuencia de realización de los pasos no está limitada en la presente memoria descriptiva.

En el Paso S310, el módulo de detección de picos 210 realiza una detección de picos en la señal de EEG para obtener una forma de onda de distribución de picos. Aquí, el módulo de detección de picos 210 divide la señal de EEG $x(t)$ en múltiples intervalos de muestreo utilizando una anchura de ventana (primera anchura de ventana) para detectar un número de picos en cada intervalo de muestreo. A continuación, el módulo de detección de picos 210 registra el número de picos incluido en cada intervalo de muestreo que sigue a la serie temporal en el diagrama de forma de onda de distribución de picos, obteniendo de esta manera una forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$, como se muestra en la figura 5. La figura 5 es un diagrama de forma de onda de distribución de picos de acuerdo con una realización de la divulgación. Por ejemplo, suponiendo que la anchura de la ventana sea de 5 segundos y tomando un segmento de señal de 0 a 5 segundos en la señal de EEG $x(t)$, se calcula el número de picos de la señal en 5 segundos. El número de picos se proyecta al 5° segundo del diagrama de forma de onda de distribución de picos mostrado en la figura 5. Por analogía, se registra un número de pico cada 5 segundos. La unidad de tiempo de la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$ es la anchura de la ventana (anchura de la primera ventana).

En el Paso S315, el módulo de análisis de energía 220 realiza un análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal de EEG para obtener múltiples formas de onda de distribución de energía. Lo que sigue se ilustra con la figura 6, con la figura 7, y con la figura 8. La figura 6 es un diagrama de forma de onda de una señal de modo intrínseco de acuerdo con una realización de la divulgación. La figura 7 es un diagrama de forma de onda de distribución de frecuencia instantánea de acuerdo con una realización de la divulgación. La figura 8 es un diagrama de forma de onda de distribución de energía de acuerdo con una realización de la divulgación.

El módulo de análisis de energía 22 descompone la señal de EEG $x(t)$ que va a ser analizada en múltiples funciones de modo intrínseco (en la realización, tres señales de modos intrínsecos $M1(x(t))$, $M2(x(t))$, y $M3(x(t))$ son ejemplificadas para ilustración) realizando un procedimiento de descomposición de modo empírico (EMD).

5 A continuación, el módulo de análisis de energía 22 calcula una frecuencia instantánea de cada una de las señales de modo intrínseco $M1(x(t))$, $M2(x(t))$, y $M3(x(t))$ en cada uno de los múltiples intervalos de muestreo. Aquí, en términos de señal de modo intrínseco $M1(x(t))$, la señal de modo intrínseco $M1(x(t))$ se divide en múltiples intervalos de muestreo utilizando la anchura de ventana (segunda anchura de ventana). A continuación, se calcula la frecuencia instantánea de la señal en cada intervalo de muestreo, por ejemplo, utilizando la transformada de Hilbert, obteniéndose de esta manera una forma de onda de distribución de frecuencia instantánea $f(M1(x(t)))$ que se muestra en la figura 7. Por analogía, la señal de modo intrínseco $M2(x(t))$ y la señal de modo intrínseco $M3(x(t))$ se convierten respectivamente en una forma de onda de distribución de frecuencia instantánea $f(M2(x(t)))$ y una forma de onda de distribución de frecuencia instantánea $f(M3(x(t)))$. Es decir, en un diagrama de distribución de frecuencia instantánea correspondiente a cada señal de modo intrínseco, la frecuencia instantánea correspondiente a cada intervalo de muestreo se registra siguiendo la serie temporal, obteniéndose de esta manera la forma de onda de distribución de frecuencia instantánea correspondiente a cada señal de modo intrínseco.

Después de esto, el módulo de análisis de energía 22 realiza respectivamente cálculos de energía en las múltiples formas de onda de distribución de frecuencia instantánea $f(M1(x(t)))$, $f(M2(x(t)))$, y $f(M3(x(t)))$ para obtener múltiples formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$, como se muestra en la figura 8. Por ejemplo, la energía calculada por el módulo de análisis de energía 22 es la densidad espectral de energía o la densidad espectral de potencia.

En el Paso S320, el analizador de complejidad 230 realiza un análisis de complejidad en la señal de EEG para obtener una forma de onda de cambio de complejidad. Lo que sigue se ilustra con la figura 9 y con la figura 10. La figura 9 es un diagrama de forma de onda de complejidad de acuerdo con una realización de la divulgación. La figura 10 es un diagrama de distribución de picos de complejidad de acuerdo con una realización de la divulgación.

25 El analizador de complejidad 230 divide la señal de EEG $x(t)$ en múltiples intervalos de muestreo utilizando una anchura de ventana (tercera anchura de ventana) para calcular una complejidad de cada intervalo de muestreo. La anchura de la tercera ventana es, por ejemplo, 1 segundo. Aquí, el analizador de complejidad 230 calcula una entropía de cada intervalo de muestreo. En un diagrama de forma de onda de complejidad, el analizador de complejidad 230 registra la complejidad (entropía) correspondiente a cada intervalo de muestreo siguiendo las series temporales, obteniendo de esta manera una forma de onda de complejidad $En(x(t))$.

La entropía es, por ejemplo, una entropía aproximada (ApEn). La entropía aproximada es un procedimiento matemático para analizar la complejidad de la información de connotación de las series temporales. Mediante el cálculo del valor de entropía de una señal a diferentes escalas espacio-temporales, se proporciona una norma cuantificada para comprobar la complejidad de la señal. La entropía aproximada calcula la diferencia de autosimilitud de dos escalas temporales adyacentes en un intervalo de muestreo. Cuanto mayor sea la complejidad, mayor será la relación de autosimilitud a una diferencia de una escala.

40 A continuación, el analizador de complejidad 230 divide la forma de onda de complejidad $En(x(t))$ en múltiples intervalos de cálculo usando otra la anchura de ventana (cuarta anchura de ventana). El analizador de complejidad 230 detecta el número de picos incluido en cada intervalo de cálculo, y registra el número de picos incluido en cada intervalo de cálculo siguiendo la serie temporal en el diagrama de distribución de picos de complejidad mostrado en la figura 10, obteniendo de esta manera una forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$. La anchura de la cuarta ventana es, por ejemplo, de 7 segundos. El analizador de complejidad 230 toma un segmento de señal de 0 a 7 segundos en una forma de onda de complejidad $En(x(t))$, calcula el número de picos de la señal en 7 segundos, y proyecta el número de picos obtenido al 7^o segundo del diagrama de distribución de picos de complejidad mostrado en la figura 10. Por analogía, se registra un número de pico cada 7 segundos. La unidad de tiempo de la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$ es la anchura de la cuarta ventana.

50 En el Paso S325, el módulo de reconocimiento 240 obtiene un resultado de determinación de la forma de onda neuronal especificada sobre la base de la forma de onda de distribución de pico $s(x(t))$, las formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$, y la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$. El resultado de la determinación incluye un intervalo de tiempo en el que se localiza la forma de onda neuronal especificada en la señal de EEG. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$ se ajusta a la regla de distribución de picos de la forma de onda neuronal especificada. Las formas de onda en los intervalos de tiempo de todas las formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$ se ajustan a la regla de cambio de energía de la forma de onda neuronal especificada. Una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$ se ajusta a la regla de cambio de complejidad de la forma de onda neuronal especificada.

Específicamente, después de obtener la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$, las formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$, y la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$, el módulo de reconocimiento 240 determina si las formas de onda se ajustan a la regla correspondiente una por una de acuerdo con un intervalo unitario preestablecido.

5 El módulo de reconocimiento 240 determina si los números de picos en intervalos de unidades múltiples de la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$ se ajustan a la regla de distribución de picos. En dos intervalos de unidades adyacentes en las series temporales, si el número de picos en un intervalo posterior de unidades disminuye en comparación con el número de picos en un intervalo anterior de unidades, se determina que el intervalo posterior de unidades se ajusta a la regla de distribución de picos. De este modo, el módulo de detección de picos 210 determina si el número de picos disminuye. Por ejemplo, la forma de onda en un intervalo 510 mostrado en la figura 5 se determina que es conforme a la regla de distribución de picos.

10 Por ejemplo, suponiendo que se utilicen 10 segundos como intervalo unitario para la determinación y que el número de picos (número total de picos) incluido en un primer intervalo unitario de 0 a 10 segundos sea 30 y el número de picos (número total de picos) incluido en un segundo intervalo unitario de 10 a 20 segundos sea 10, se determina que el segundo intervalo unitario se ajusta a la regla de distribución de picos. Por analogía, el módulo de reconocimiento 240 discrimina si cada intervalo unitario de la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$ se ajusta a la regla de distribución de picos. Además, el módulo de reconocimiento 240 establece un valor booleano correspondiente al intervalo unitario que se ajusta a la regla de distribución de picos como "verdadero" y establece el valor booleano correspondiente al intervalo unitario que no se ajusta a la regla de distribución de picos como "falso".

15 Además, el módulo de reconocimiento 240 determina adicionalmente si las densidades de energía en múltiples intervalos de unidades de las formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$ se ajustan a la regla de cambio de energía. En dos intervalos unitarios adyacentes en la serie temporal de cada una de las formas de onda de distribución de energía al mismo tiempo, si la densidad de energía en un intervalo unitario posterior disminuye en comparación con la densidad de energía en un intervalo unitario anterior, se determina que el intervalo unitario posterior se ajusta a la regla de cambio de energía. En otras palabras, sólo en el caso de que las densidades de energía en el mismo intervalo unitario de las tres formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$ disminuyan, el intervalo unitario se determina conforme a la regla de cambio de energía. Por ejemplo, la forma de onda en un intervalo 810 mostrado en la figura 8 se determina conforme a la regla de cambio de energía. Además, el módulo de reconocimiento 240 establece el valor booleano correspondiente al intervalo unitario conforme a la regla de cambio de energía como "verdadero" y establece el valor booleano correspondiente al intervalo unitario no conforme a la regla de cambio de energía como "falso".

20 Además, el módulo de reconocimiento 240 determina adicionalmente si los números de picos en intervalos de unidades múltiples de la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$ se ajustan a la regla de cambio de complejidad. El intervalo de unidades en el que el número de picos es mayor que un valor preestablecido se determina como conforme a la regla de cambio de complejidad. Por ejemplo, el número de picos de la forma de onda en un intervalo 1010 mostrado en la figura 10 es mayor que el valor preestablecido, por lo que se determina que el intervalo 1010 se ajusta a la regla de cambio de complejidad. Además, el módulo de reconocimiento 240 establece el valor booleano correspondiente al intervalo unitario que se ajusta a la regla de cambio de complejidad como "verdadero" y establece el valor booleano correspondiente al intervalo unitario que no se ajusta a la regla de cambio de complejidad como "falso".

25 Finalmente, el módulo de reconocimiento 240 encuentra los intervalos unitarios correspondientes a los valores booleanos que son todos "verdaderos" en múltiples intervalos unitarios incluidos en cada una de las formas de onda de distribución de picos $s(x(t))$, las formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $(f(M3(x(t))))$, y la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$, que representa el intervalo de tiempo en el que se localiza la forma de onda neuronal especificada. Por ejemplo, suponiendo que el valor booleano correspondiente al intervalo unitario de 100 a 110 segundos de la forma de onda de distribución del valor de pico $s(x(t))$ es "verdadero", los valores booleanos correspondientes al intervalo unitario de 100 a 110 segundos de las tres formas de onda de distribución de energía $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, y $E(f(M3(x(t))))$ son "verdadero", y el valor booleano correspondiente al intervalo unitario de 100 a 110 segundos de la forma de onda de cambio de complejidad $S(En(x(t)))$ es "verdadero", el intervalo unitario de 100 a 110 segundos se determina como el intervalo de tiempo en el que se encuentra la forma de onda neural especificada, es decir, la fase irregular.

30 En resumen, la divulgación combina la detección de picos, el análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea y el análisis de complejidad, y utiliza la discriminación de la forma de onda de distribución de picos para encontrar la identificación de características preictales y posictales. Además, en cuanto a la discriminación de las formas de onda de distribución de energía, se puede distinguir una identificación característica entre la fase irregular y el inicio. Además, en cuanto a la discriminación de la forma de onda de cambio de complejidad, se puede distinguir la identificación característica de la fase irregular y la fase de estallido. De este modo, se puede determinar con precisión la fase irregular de la señal de EEG.

Lista de signos de referencia

- 100: sistema para procesar una señal de EEG
- 110: procesador
- 120: dispositivo de almacenamiento
- 5 130: dispositivo de salida
- 210: módulo de detección de picos
- 220: módulo de análisis energético
- 230: analizador de complejidad
- 240: módulo de reconocimiento
- 10 S305-S325: pasos del procedimiento para procesar una señal de EEG
- 510, 810, 1010: intervalo
- $x(t)$: Señal EEG
- $s(x(t))$: forma de onda de la distribución de picos
- $M1(x(t))$, $M2(x(t))$, $M3(x(t))$: señal de modos intrínsecos
- 15 $f(M1(x(t)))$, $f(M2(x(t)))$, $f(M3(x(t)))$: forma de onda de distribución de frecuencias instantáneas
- $E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$: forma de onda de distribución de energía
- $En(x(t))$: forma de onda de complejidad
- $S(En(x(t)))$: forma de onda de cambio de complejidad

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para procesar una señal de electroencefalografía (EEG), por medio de un procesador (110), que comprende:
 - 5 obtener (S305) la señal de EEG $x(t)$;
 - realizar (S310) una detección de picos en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$;
 - realizar (S315) un análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$);
 - 10 realizar (S320) un análisis de complejidad en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t))))$); y
 - determinar un intervalo de tiempo en el que se encuentra una forma de onda neuronal especificada basándose en la forma de onda de distribución de picos ($s(x(t))$), la pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$), y la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t))))$), en el que una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de distribución de picos ($s(x(t))$) se ajusta a una regla de distribución de picos de la forma de onda neuronal especificada, una forma de onda en el intervalo de tiempo de cada una de las formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$) se ajusta a una regla de cambio de energía de la forma de onda neuronal especificada, y una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t))))$) se ajusta a una regla de cambio de complejidad de la forma de onda neuronal especificada.
2. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el paso de realizar (S310) la detección de picos sobre la señal de EEG $x(t)$ para obtener la forma de onda de distribución de picos ($s(x(t))$) comprende:
 - 25 dividir la señal de EEG $x(t)$ en una pluralidad de intervalos de muestreo utilizando una anchura de ventana;
 - detectar un número de picos comprendido en cada uno de los intervalos de muestreo de la señal de EEG $x(t)$); y
 - 30 registrar el número de picos comprendidos en cada uno de los intervalos de muestreo que siguen a una serie temporal en un diagrama de forma de onda de distribución de picos, obteniendo de esta manera la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$.
3. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que después de obtener la forma de onda de distribución de picos ($s(x(t))$), el procedimiento comprende además:
 - 35 determinar si los números de picos de una pluralidad de intervalos unitarios en la forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$ se ajustan a la regla de distribución de picos, en el que
 - 40 en dos intervalos unitarios adyacentes de una serie temporal, si el número de picos de un intervalo unitario posterior disminuye en comparación con el número de picos de un intervalo unitario anterior, se determina que el intervalo unitario posterior se ajusta a la regla de distribución de picos.
4. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el paso de realizar (S315) el análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea sobre la señal de EEG $x(t)$ para obtener la pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$) comprende:
 - 45 realizar una descomposición de modo empírico en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una pluralidad de señales de modo intrínseco ($M1(x(t))$, $M2(x(t))$, $M3(x(t))$);
 - calcular una frecuencia instantánea en cada uno de una pluralidad de intervalos de muestreo de cada una de las señales de modo intrínseco ($M1(x(t))$, $M2(x(t))$, $M3(x(t))$);

- 5 registrar la frecuencia instantánea correspondiente a cada uno de los intervalos de muestreo siguiendo una serie temporal en un diagrama de distribución de frecuencia instantánea correspondiente a cada una de las señales de modo intrínseco ($M1(x(t))$, $M2(x(t))$, $M3(x(t))$), obteniéndose de esta manera una pluralidad de formas de onda de distribución de frecuencias instantáneas ($f(M1(x(t)))$, $f(M2(x(t)))$, $f(M3(x(t)))$) respectivamente correspondientes a la pluralidad de señales de modo intrínseco ($M1(x(t))$, $M2(x(t))$, $M3(x(t))$); y
- realizar respectivamente un cálculo de energía sobre la pluralidad de formas de onda de distribución de frecuencias instantáneas ($f(M1(x(t)))$, $f(M2(x(t)))$, $f(M3(x(t)))$) para obtener la pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$).
- 10 5. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que tras obtener la pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$), el procedimiento comprende, además:
- determinar si las densidades de energía en una pluralidad de intervalos unitarios de la pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$) se ajustan a la regla de cambio de energía, en el que
- 15 en dos intervalos unitarios adyacentes en una serie temporal de cada una de las formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$) al mismo tiempo, si una densidad de energía en un intervalo unitario posterior disminuye en comparación con una densidad de energía en un intervalo unitario anterior, se determina que el intervalo unitario posterior se ajusta a la regla de cambio de energía.
- 20 6. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el paso de realizar (S320) el análisis de complejidad sobre la señal de EEG ($x(t)$) para obtener la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$) comprende:
- dividir la señal de EEG ($x(t)$) en una pluralidad de intervalos de muestreo utilizando una anchura de ventana;
- calcular la complejidad de cada uno de los intervalos de muestreo;
- 25 registrar la complejidad correspondiente a cada uno de los intervalos de muestreo que siguen a una serie temporal en un diagrama de forma de onda de complejidad, obteniendo de esta manera una forma de onda de complejidad;
- dividir la forma de onda de complejidad en una pluralidad de intervalos de cálculo utilizando otra anchura de ventana;
- 30 detectar un número de picos comprendido en cada uno de los intervalos de cálculo; y
- registrar el número de picos comprendidos en cada uno de los intervalos de cálculo que siguen a una serie temporal en un diagrama de distribución de picos de complejidad, obteniendo de esta manera la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$).
- 35 7. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que tras obtener la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$), el procedimiento comprende además:
- determinar si los números de picos en una pluralidad de intervalos unitarios de la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$) se ajustan a la regla de cambio de complejidad, en la que
- un intervalo de unidades en el que el número de picos es mayor que un valor preestablecido se determina como conforme a la regla de cambio de complejidad.
- 40 8. El procedimiento para procesar una señal de EEG de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la forma de onda neural especificada es una forma de onda de fase irregular para determinar el inicio de la epilepsia.
9. Un sistema para procesar una señal de EEG, que comprende:
- un dispositivo de salida (130);
- 45 un dispositivo de almacenamiento (120), que comprende una pluralidad de fragmentos de código; y
- un procesador (110), acoplado al dispositivo de salida (130) y al dispositivo de almacenamiento (120), estando configurado el procesador (110) para realizar una pluralidad de fragmentos de código con el fin de:

obtener la señal de EEG $x(t)$;

realizar una detección de picos en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una forma de onda de distribución de picos $s(x(t))$;

5 realizar un análisis de energía de oscilación de frecuencia instantánea en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$);

realizar un análisis de complejidad en la señal de EEG $x(t)$ para obtener una forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$); y

10 determinar un intervalo de tiempo en el que se encuentra una forma de onda neuronal especificada basándose en la forma de onda de distribución de picos ($s(x(t))$), la pluralidad de formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$), y la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$), en el que una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de distribución de picos ($s(x(t))$) se ajusta a una regla de distribución de picos de la forma de onda neuronal especificada, una forma de onda en el intervalo de tiempo de cada una de las formas de onda de distribución de energía ($E(f(M1(x(t))))$, $E(f(M2(x(t))))$, $E(f(M3(x(t))))$) se ajusta a una regla de cambio de energía de la forma de onda neuronal especificada, y una forma de onda en el intervalo de tiempo de la forma de onda de cambio de complejidad ($S(En(x(t)))$) se ajusta a una regla de cambio de complejidad de la forma de onda neuronal especificada.

20

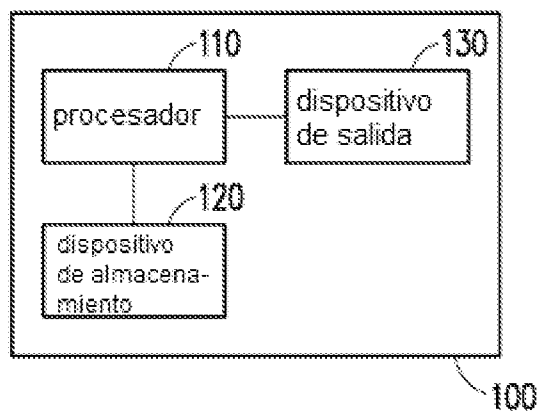


FIG. 1

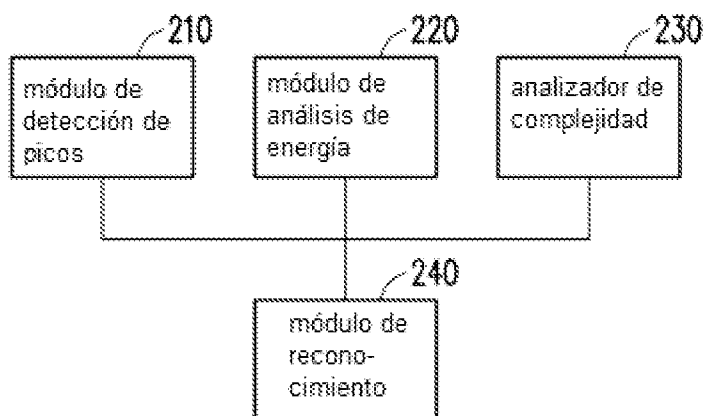


FIG. 2

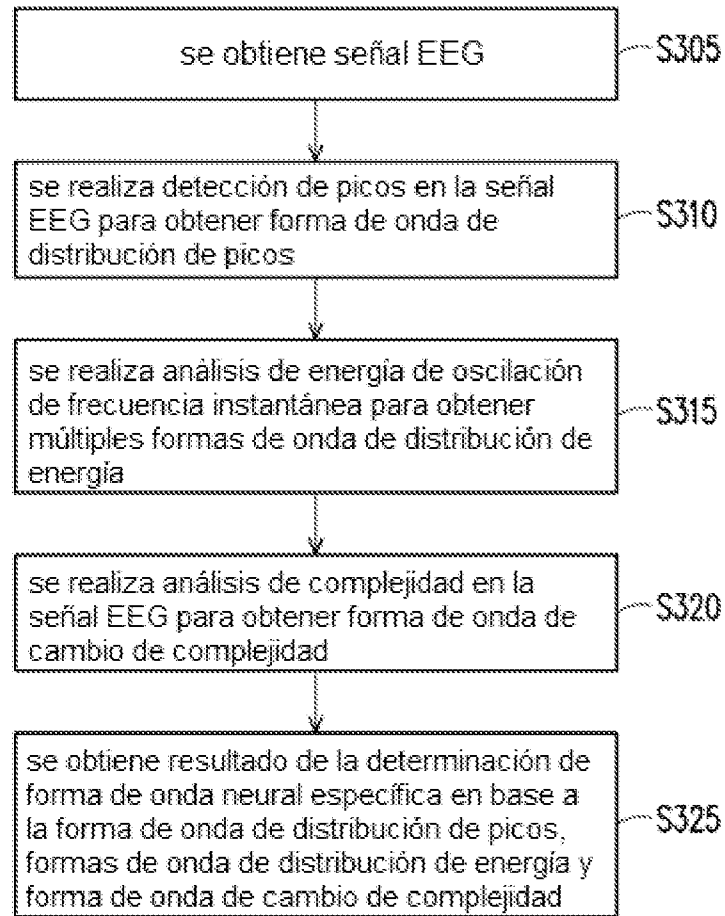


FIG. 3

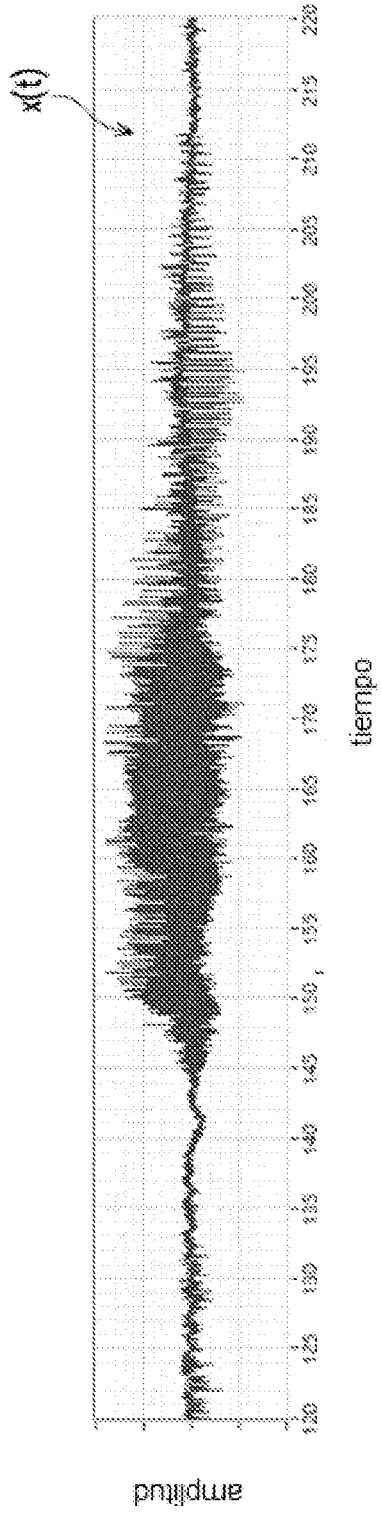


FIG. 4

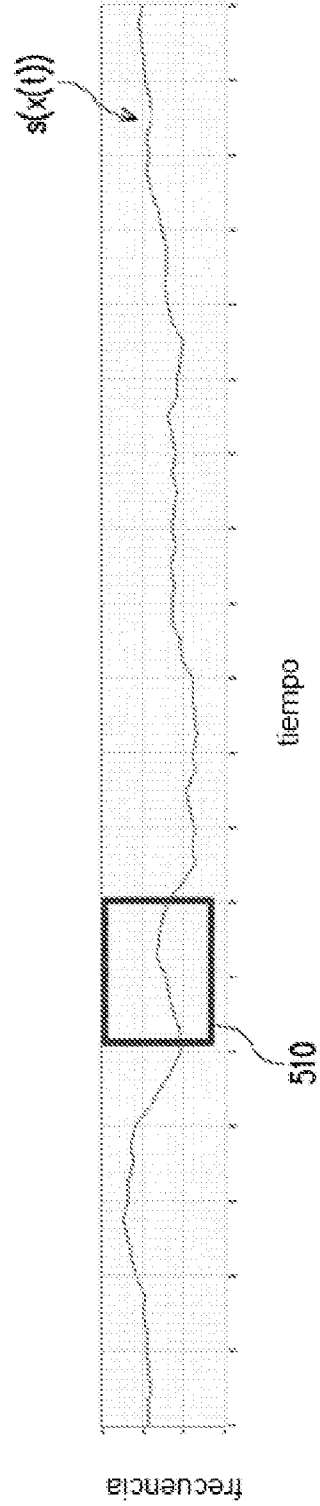


FIG. 5

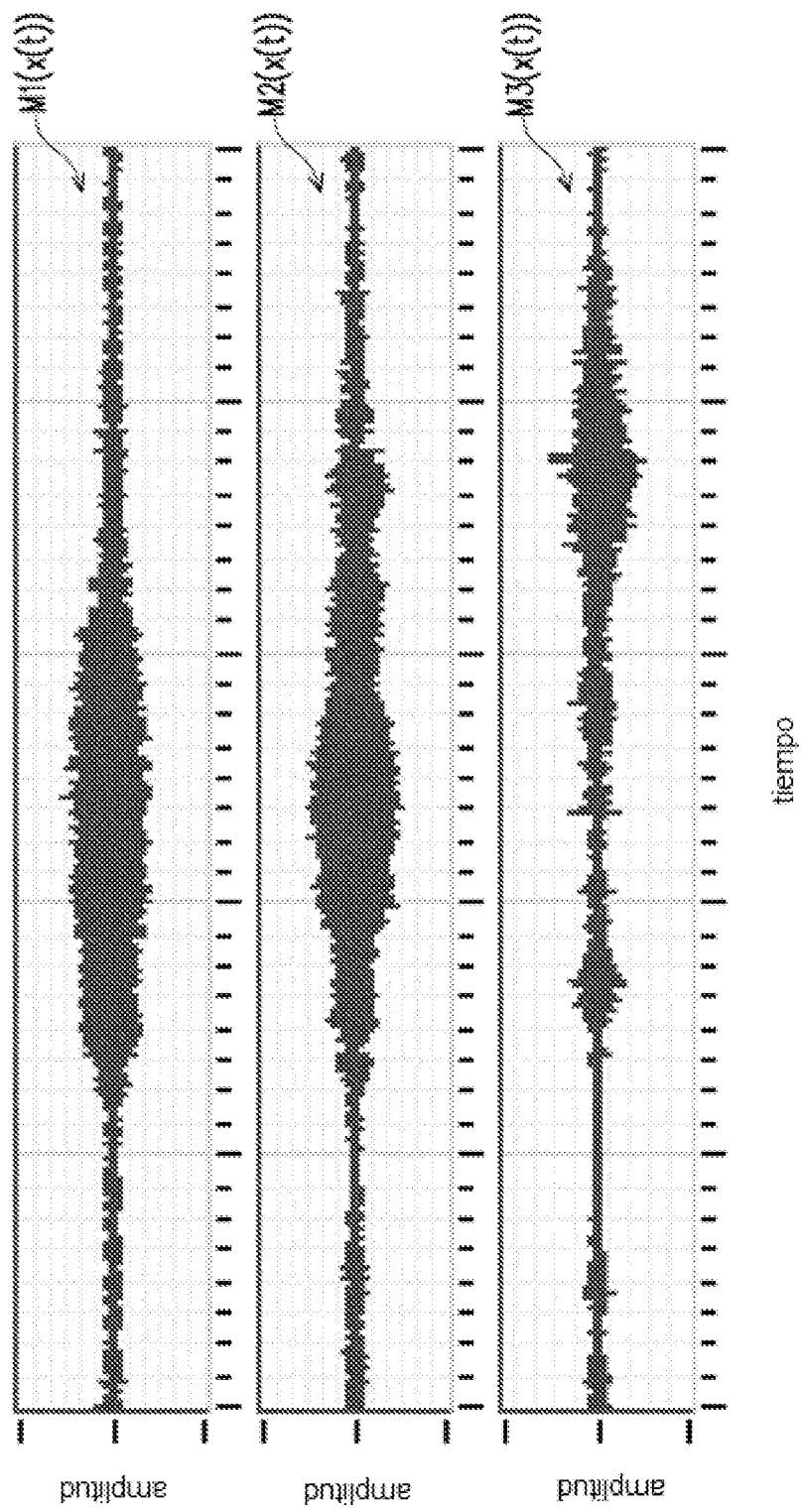


FIG. 6

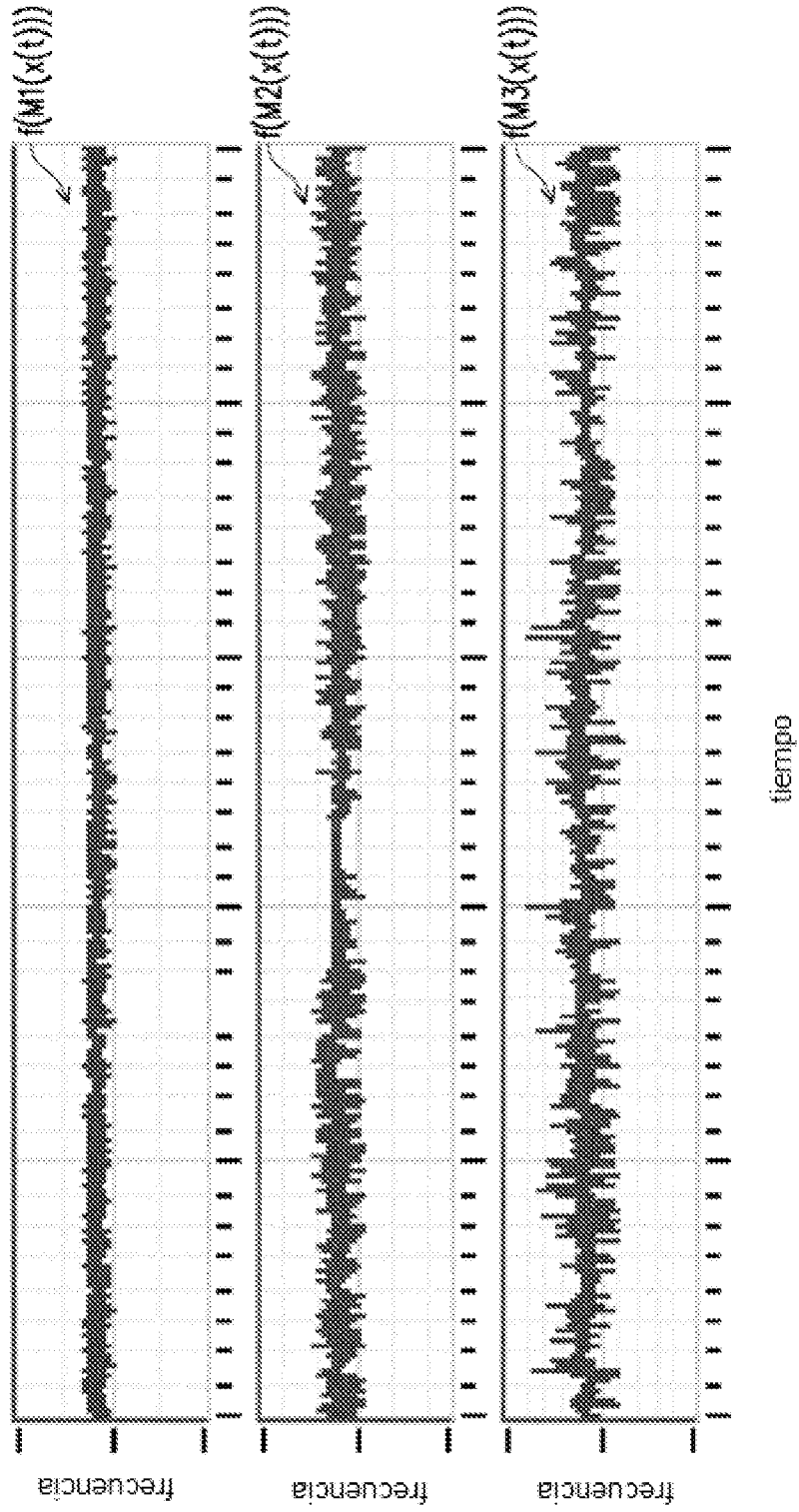


FIG. 7

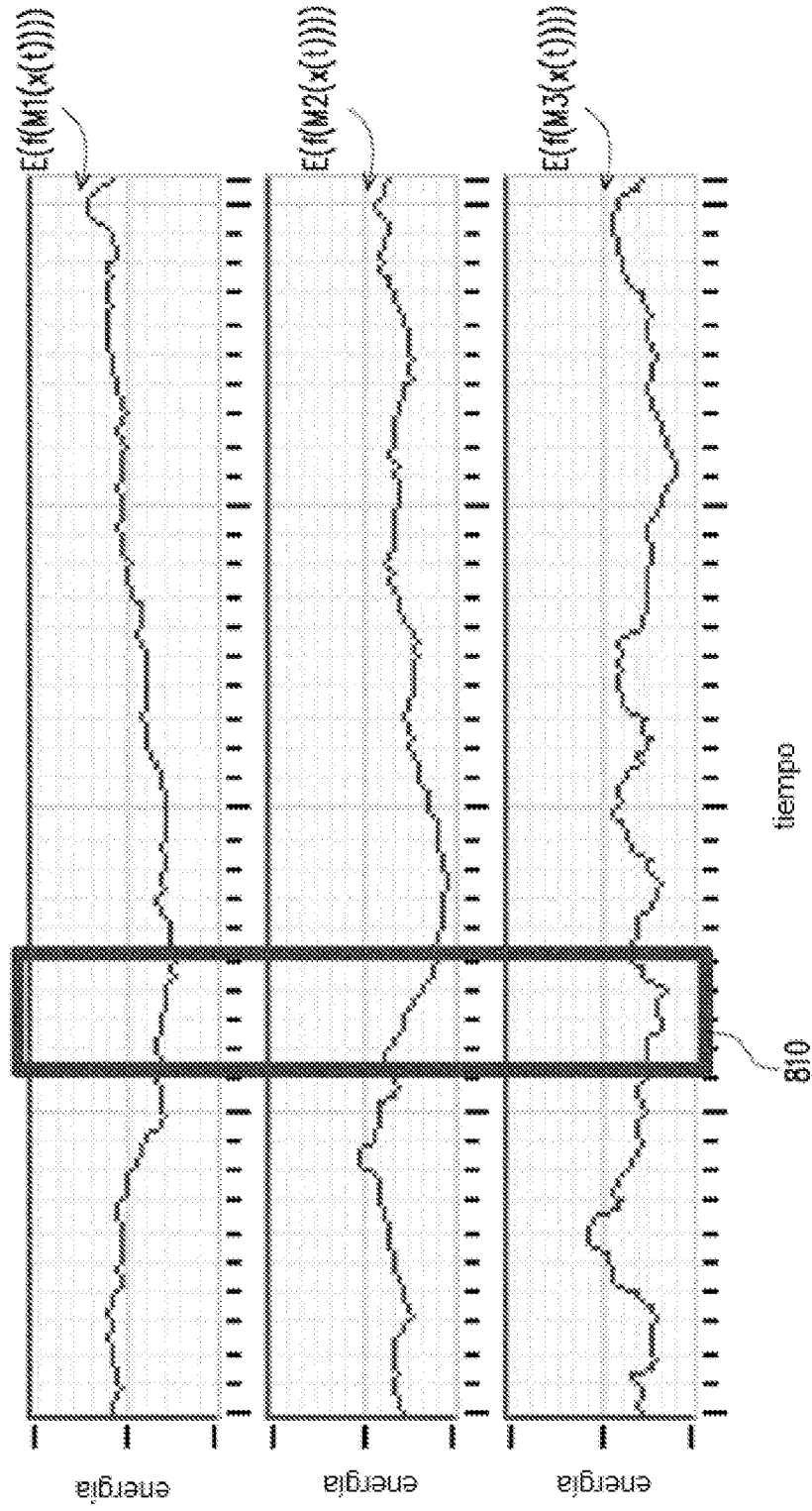


FIG. 8

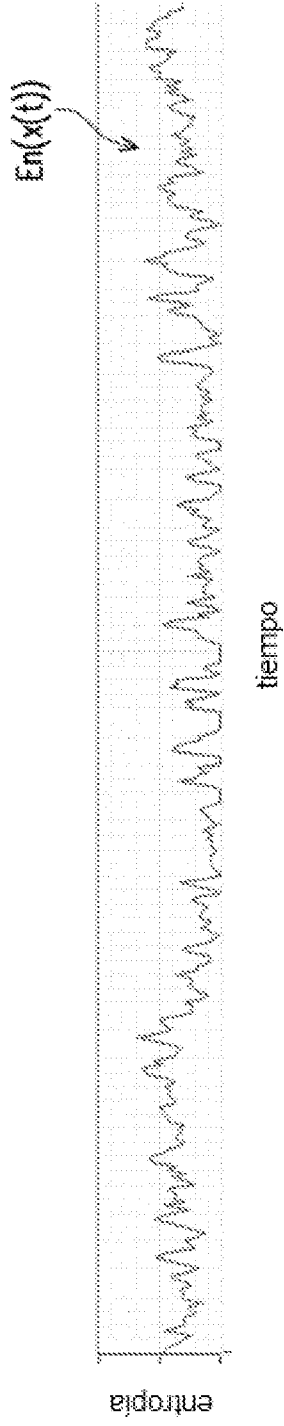


FIG. 9

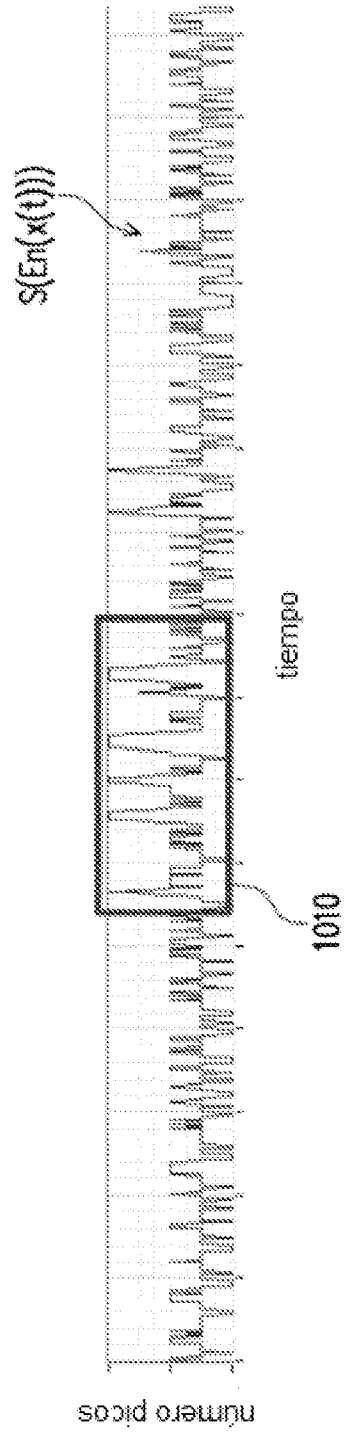


FIG. 10