



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 345 227**

⑫ Número de solicitud: 200800727

⑤① Int. Cl.:
G05B 17/02 (2006.01)
G05B 19/00 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **12.03.2008**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **17.09.2010**

⑫③ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
17.09.2010

⑦① Solicitante/s: **Universitat de les Illes Balears**
Carretera de Valldemossa, Km. 7,5
07122 Palma de Mallorca, Illes Balears, ES

⑦② Inventor/es: **Toral Garcés, Raúl;**
Mirasso Santos, Claudio R;
Ciszak, Marzena y
Calvo Ibáñez, Óscar A.

⑦④ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑤④ Título: **Procedimiento y aparato para el control de un sistema dinámico maestro.**

⑤⑦ Resumen:

Procedimiento y aparato para el control de un sistema dinámico maestro.

Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro que comprende modelar la conducta del sistema dinámico maestro mediante un sistema discípulo que contiene una línea de retraso; construir una señal correctiva $C(t)$ y enviar la señal correctiva $C(t)$ al sistema dinámico maestro.

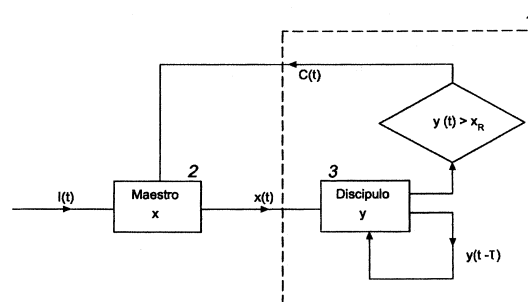


FIG. 1

ES 2 345 227 A1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para el control de un sistema dinámico maestro.

5 **Objeto de la invención**

El objeto principal de la presente invención es un procedimiento y un aparato para controlar un sistema dinámico maestro, en el que se modela la conducta del sistema dinámico maestro mediante un sistema discípulo que contiene una línea de retraso, y se envía una señal correctiva al sistema dinámico maestro.

10

Antecedentes de la invención

La presente invención se enmarca dentro del campo del control de sistemas dinámicos en los que se desea corregir la aparición de conductas impredecibles y no deseadas. La conducta impredecible de dichos sistemas dinámicos puede ser debida bien a que el sistema dinámico es intrínsecamente caótico (y sea, por tanto muy sensible a las condiciones iniciales, de forma que un cambio ínfimo en las mismas provoca cambios drásticos en la conducta final) o bien a que está forzado mediante una perturbación externa desconocida. Ejemplos de sistemas que son susceptibles de comportarse de modo impredecible incluyen, pero no se limitan a, neuronas, tejidos cardíacos, la corteza cerebral, mesas antivibración, circuitos electrónicos, la red eléctrica, etc.

20

La predicción del comportamiento de sistemas dinámicos, caóticos o no, es un campo que se ha estudiado extensamente con relación a una gran variedad de sistemas de interés físico y biológico. Sin embargo, aunque la observación de la sincronización de osciladores se remonta a experimentos ya clásicos por Huygens varios siglos atrás, es recientemente cuando se han producidos grandes avances, especialmente durante la última década, en el estudio de la sincronización de sistemas dinámicos caóticos. Decimos que “sincronizar” dos sistemas significa conseguir que funcionen de manera unísona. El caso extremo se produce cuando los dos sistemas evolucionan de manera idéntica, aunque otro ejemplo intermedio sería que ambos tuviesen sus máximos y mínimos al mismo tiempo. Un tipo de sincronización relevante para la presente invención se produce cuando uno de los sistemas anticipa el comportamiento del otro, y a él nos referimos en lo que sigue.

30

Recientemente, el Dr. Henning Voss (H.U. Voss, Phys. Rev. E 61, 5115 (2000); Phys. Rev. E 64, 039904 (E) (2001); Phys. Rev. Lett. 87, 014102 (2001)) ha descubierto un nuevo esquema de sincronización llamado “sincronización anticipada”, demostrando que utilizando las líneas de retardo adecuado es posible sincronizar dos sistemas acoplados unidireccionalmente de modo que uno de ellos (el denominado “sistema discípulo”) anticipa (en otras palabras: predice) el comportamiento del otro (el “sistema maestro”). El esquema considerado fue el siguiente:

35

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f[x(t)] \\ \dot{y}(t) &= f[y(t)] + K \cdot (x(t) - y(t - \tau))\end{aligned}$$

40

donde,

45

$x(t)$ es el conjunto de variables que describe al sistema maestro;

$y(t)$ es el conjunto de variables que describe al sistema discípulo;

$f[x]$ es la función que define el sistema dinámico autónomo;

50

K es la constante que representa la intensidad del acoplamiento;

τ es el tiempo de retardo en el bucle de retroalimentación del discípulo.

55

Se demuestra que este sistema de ecuaciones admite una solución estructuralmente estable de la forma:

$$y(t) = x(t + \tau),$$

60

en la que el sistema discípulo adelanta en un tiempo τ la conducta del maestro. Esto es sorprendente si consideramos el caso en que la dinámica del sistema maestro x sea aperiódica o incluso caótica, y por lo tanto “intrínsecamente impredecible”.

65

Posteriormente, los autores del presente documento profundizaron en el estudio numérico y experimental del régimen de sincronización anticipada en sistemas excitables (*Anticipated synchronization in neuron models, ESANN'2003 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Bruges (Belgium), 23-25 April 2003, ISBN 2-930307-03-X, págs. 373-378*). Los sistemas excitables son aquellos que reaccionan con una gran respuesta (llamada “pulso”) cuando la fuerza externa sobrepasa un valor umbral pequeño. La impredecibilidad intrínseca del comporta-

miento del sistema dinámico x , en este caso, no es debida necesariamente a una dinámica caótica sino a la existencia de fuerzas externas aperiódicas, que incluso pueden ser aleatorias. Por tanto, el sistema estudiado en este caso es:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f[x(t)] + I(t) \\ \dot{y}(t) &= f[y(t)] + I(t) + K \cdot (x(t) - y(t - \tau))\end{aligned}$$

donde $I(t)$ representa una perturbación externa no periódica.

Es importante remarcar que ahora $y(t)=x(t+\tau)$ ya no es una solución exacta a las ecuaciones. Se descubrió que, a pesar de todo y bajo condiciones de acoplamiento adecuadas, puede producirse una correlación entre $y(t)$ y $x(t + \tau)$ que, en la práctica, permite predecir el comportamiento futuro de $x(t)$ con gran precisión.

Como ejemplos del anterior esquema, se consideró específicamente que los sistemas $x(t)$ e $y(t)$ representarían modelos de neuronas sensoriales. Las neuronas sensoriales transforman señales de estímulo externas, como presión, temperatura, pulsos eléctricos, etc., en pulsos que activan funciones corporales. Su comportamiento es típico de sistemas excitables: si el estímulo externo está por encima de un cierto valor umbral, la neurona emite un pulso. Después del pulso, se produce un proceso de recuperación, llamado período refractario, durante el cual no se puede producir un segundo pulso. En general, las neuronas sensoriales funcionan en un entorno ruidoso, y como consecuencia, los intervalos de tiempo entre pulsos contienen una componente aleatoria significativa, e incluso se pueden producir pulsos en ausencia de estímulos.

Descripción de la invención

Los autores de la presente invención han descubierto que un sistema discípulo es capaz de anticipar la conducta de un sistema dinámico maestro incluso si en la ecuación que modela el comportamiento del discípulo no se incluye la señal externa y si se consideran funciones de acoplamiento no lineales, más generales que los acoplamientos lineales considerados en los ejemplos anteriores. Las ecuaciones que modelan al maestro y al discípulo son, por lo tanto:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f[x(t)] + I(t) \\ \dot{y}(t) &= f[y(t)] + K[x(t) - y(t - \tau)]\end{aligned}$$

donde, como antes:

- $x(t)$ es el conjunto de variables que describe al sistema maestro;
- $y(t)$ es el conjunto de variables que describe al sistema discípulo;
- $f[x]$ define el sistema dinámico bajo consideración;
- $I(t)$ es una señal externa que actúa solamente sobre la dinámica del maestro;
- K es una función general de acoplamiento que satisface $K[0] = 0$;
- τ es el tiempo de retraso en el bucle de retroalimentación del discípulo.

Los inventores han demostrado que, incluso en presencia de la señal externa $I(t)$ el sistema admite la solución aproximada $y(t)=x(t + \tau)$, en la que el discípulo adelanta un tiempo τ la conducta del maestro. La ventaja de este esquema respecto a los anteriores radica en que el sistema discípulo no está expuesto a la señal externa. Esto es especialmente importante en aquellos casos en los que, por el motivo que sea, no se tenga acceso directo a dicha señal.

A partir de este esquema predictivo, se ha desarrollado un esquema correctivo que consiste en enviar al sistema maestro una señal correctiva cada vez que la variable dinámica del sistema discípulo cruza un cierto valor umbral. En concreto, cuando $y(t)$ cruza el valor umbral x_R , se envía una señal correctiva $C(t)$ al maestro $x(t)$. Se podría pensar que un esquema análogo funcionaría si se enviara la señal correctiva tomando como referencia el momento en que la variable $x(t)$ maestro cruza el umbral x_R . El nuevo procedimiento de control de sistemas dinámicos basado en la supervisión de un sistema discípulo tiene la ventaja principal de que, debido a la anticipación del sistema discípulo, la acción correctiva se puede tomar en un tiempo anterior al que lo haríamos si utilizáramos al maestro como indicador. El poder adelantar la aplicación de la señal correctiva permite que sea suficiente que ésta tenga una amplitud menor que utilizando otros sistemas de control. Es plausible, incluso, que sin el adelantamiento que ofrece nuestro método no fuera posible enviar una señal correctiva que actuara de una manera efectiva. Hay que pensar que, además, el envío de la señal correctiva no es inmediato, sino que requiere de un tiempo de respuesta, de manera que una acción correctiva basada en el maestro puede llegar demasiado tarde.

ES 2 345 227 A1

Por tanto, un aspecto de la presente invención se refiere a un procedimiento de control de un sistema dinámico maestro que comprende los siguientes pasos:

a) Modelar la conducta $x(t)$ del sistema dinámico maestro mediante un sistema $y(t)$ discípulo de acuerdo con las ecuaciones:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f[x(t)] + I(t) \\ \dot{y}(t) &= f[y(t)] + K[x(t) - y(t - \tau)]\end{aligned}$$

donde:

$x(t)$ describe el comportamiento sistema dinámico maestro;

$y(t)$ describe el comportamiento del sistema discípulo;

$f[x]$ define el sistema dinámico bajo consideración;

$I(t)$ es una señal externa que actúa sobre la dinámica del sistema maestro;

K es una función general de acoplamiento que satisface $K[0] = 0$;

τ es el tiempo de retraso en el bucle de retroalimentación del sistema discípulo.

Para simular el sistema dinámico maestro se puede utilizar un circuito electrónico, un DSP, una FPGA, un microcontrolador, un PC, etc.

b) Construir una señal correctiva $C(t)$. En los ejemplos concretos que explicamos más adelante, la señal correctiva $C(t)$ está formada por pulsos rectangulares de amplitud constante. En otros casos, puede ser necesario calcular la forma más efectiva de esta señal correctiva. Esta operación puede ser realizada también mediante un circuito electrónico, un DSP, una FPGA, un microcontrolador, un PC, etc.

c) Enviar la señal correctiva $C(t)$ al sistema dinámico maestro cuando el sistema discípulo sobrepasa un valor umbral, de manera que su dinámica se modifica temporalmente a:

$$\dot{x}(t) = f[x(t)] + I(t) + C(t).$$

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para el control de un sistema dinámico maestro que comprende los siguientes elementos:

a) Un medio de entrada, que recibe la señal que caracteriza el comportamiento del sistema dinámico caótico maestro $x(t)$;

$$\dot{x}(t) = f[x(t)] + I(t)$$

Por ejemplo, en el caso de tejido cardíaco, el medio de entrada podría consistir en unos electrodos que reciben los impulsos eléctricos (electrocardiograma) emitidos por el corazón; en el caso de la corteza cerebral podrían ser las señales recogidas por los electrodos de un equipo de electroencefalografía o un magnetoencefalografía.

b) Un medio de cálculo, que recibe la señal que caracteriza el comportamiento del sistema dinámico maestro $x(t)$ del medio de entrada y simula su comportamiento de acuerdo con la ecuación:

$$\dot{y}(t) = f[y(t)] + K[x(t) - y(t - \tau)]$$

El sistema discípulo debe contar con una línea de retroalimentación con un cierto tiempo de retraso τ . A continuación, el medio de cálculo construye una señal correctiva $C(t)$ cuando el sistema discípulo sobrepasa un valor umbral y la envía al medio de salida.

c) Un medio de salida, que envía la señal correctiva $C(t)$ al sistema maestro. De modo similar al descrito anteriormente, se podría tratar de un par de electrodos capaces de aplicar, por ejemplo a un tejido cardíaco, la señal correctiva $C(t)$, que frecuentemente es un tren de pulsos de amplitud y duración constantes.

5 Es obvio para un experto en la materia que un aparato como el descrito debe comprender además medios de alimentación y/o medios de almacenamiento.

10 Por otro lado, y de acuerdo con otro aspecto de la invención, ésta se extiende también a programas de ordenador, en particular programas de ordenador contenidos en una portadora, adaptados para llevar a cabo las operaciones del procedimiento descrito. El programa puede estar en forma de código fuente, código objeto o un código intermedio entre el código fuente y el código objeto, como una forma parcialmente compilada, o de cualquier otra forma adecuada para implementar las operaciones de la invención.

15 La portadora puede ser cualquier dispositivo o entidad capaz de transportar el programa. Por ejemplo, la portadora puede comprender un medio de almacenamiento, como una ROM, un CD ROM o cualquier otro medio de almacenamiento magnético, por ejemplo un disquete o un disco duro. Además, la portadora puede ser una portadora de transmisión, como una señal eléctrica u óptica que se pueda comunicar a través de cable eléctrico, óptico, por radio o de cualquier otro modo.

20

Descripción de las figuras

25 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de figuras en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra el esquema simplificado del procedimiento para el control de un sistema dinámico de acuerdo con la presente invención.

30

Figura 2.- Muestra una gráfica que representa los comportamientos del sistema maestro $x(t)$ y del dispositivo discípulo $y(t)$ de acuerdo con un ejemplo de la presente invención, donde se aplican dos perturbaciones a un sistema dinámico caótico maestro. El procedimiento de control de acuerdo con la invención se aplica sólo en la segunda perturbación.

35

Figura 3.- Muestra una gráfica que representa los comportamientos de los sistemas maestro y discípulo de acuerdo con un ejemplo de la presente invención, donde se aplican un gran número de perturbaciones (indicadas por las cortas líneas verticales en la parte inferior de la figura) a un sistema dinámico maestro controlado de acuerdo con el procedimiento de control de acuerdo con la presente invención.

40

Figura 4.- Muestra un esquema de un ejemplo de un aparato para el control de sistemas dinámicos de acuerdo con la presente invención.

45 Figura 5.- Muestra un ejemplo de realización de un aparato electrónico de control de sistemas dinámicos de acuerdo con la presente invención.

Figura 6.- Muestra los resultados obtenidos cuando el sistema maestro de la Figura 5 no está controlado por el aparato de la invención.

50 Figura 7.- Muestra los resultados obtenidos cuando el sistema maestro de la Figura 5 está controlado por el aparato de la invención.

Realización preferente de la invención

55

La Figura 1 muestra un esquema general del procedimiento de control de acuerdo con la invención. En la figura 1 se describen los acoplamientos entre el sistema maestro (2) y el sistema discípulo (3) y la línea de retroalimentación de este último. El sistema discípulo (3) anticipa un tiempo τ igual al tiempo de retraso en la línea de retroalimentación y cuando supera un valor umbral, se envía una señal de control al maestro (2). A continuación se describen dos ejemplos de utilización del procedimiento propuesto.

60

Ejemplo 1

65 En primer lugar se describe un sencillo modelo comúnmente empleado (sistema de Adler) de una variable con $f[x] = \mu - \cos[x]$ y la función de acoplamiento $K[z] = K_0 \sin[z]$. La señal externa $I(t)$ consiste en una serie de pulsos instantáneos de intensidad $I_0 = 0,64$ que actúan en tiempos aleatorios t_i y representado por los pequeños trazos verticales en la parte inferior de la Figura 2. En esa figura se observa (pulsos de la izquierda en la Figura 2) cómo el sistema

discípulo (3) (línea punteada, $y(t)$) anticipa un tiempo τ el comportamiento del sistema maestro (2) (línea continua, $x(t)$). Dicho comportamiento consiste en la emisión de un pulso debido a la acción de la perturbación $I(t)$ que actúa en el tiempo $t=200$. Se han tomado los parámetros para el sistema de Adler $\mu = 0,95$, $\tau = 1,5$ y $K_0 = 0,6$.

En la parte derecha de la Figura 2 se implementa el procedimiento de control para evitar la aparición de pulsos en la dinámica del sistema maestro (2) como respuesta a una perturbación que actúa en el tiempo $t=250$. La señal correctora $C(t)$ es también un pulso instantáneo de intensidad $-\varepsilon$ con $\varepsilon = 0,004$ que se envía cuando la variable $y(t)$ del sistema discípulo (3) sobrepasa el valor umbral $x_R = \pi/4$, o sea cuando $y(t) > x_R$. Enviando una señal correctora $C(t)$ (que es un pulso instantáneo de intensidad $\varepsilon = 0,004$) se observa que el pulso del sistema maestro (2) (línea continua, $x(t)$) es completamente eliminado. Se necesitaría un valor mucho mayor, $\varepsilon = 0,47$, más de diez veces superior, para evitar los pulsos si la decisión se tomara en base a que sea la variable del sistema maestro (3) la que cruza el valor umbral.

En la Figura 3 se ha aplicado al sistema maestro (2) una serie de 69 perturbaciones (indicadas por las líneas verticales en la parte inferior). Sólo se dibuja la dinámica del sistema maestro (2). En este caso y para reproducir mejor condiciones reales, se ha añadido términos de ruido de intensidad $D = 0,01$ y un retraso $t_R = 1$ en la activación del mecanismo de control. Cuando tomamos $\varepsilon = 0,3$, el procedimiento de control de la invención permite la corrección de todos los pulsos excepto cuatro, una tasa de éxito del 94%.

Ejemplo 2

En segundo lugar, la Figura 4 muestra un esquema simplificado de un ejemplo del aparato (1) de la invención que controla un sistema maestro (2), cuyo comportamiento está definido por la ecuación $\dot{x}(t) = f[x(t)] + I(t)$. De acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, el sistema maestro (2) puede ser una neurona, un circuito electrónico, una mesa antivibración, la red eléctrica, etc. El aparato (1) comprende los siguientes componentes:

- Un medio de entrada (4), que recibe la señal $x(t)$ del sistema dinámico maestro (2) y la transmite al medio de control (5).

- Un medio de cálculo (5), que emula el comportamiento del maestro (2) de acuerdo con la ecuación $\dot{y}(t) = f[y(t)] + K[x(t) - y(t - \tau)]$, que corresponde al comportamiento del sistema discípulo (3).

El medio de cálculo (5) monitoriza además la conducta $y(t)$ del sistema discípulo (3). Cuando la señal $y(t)$ supera un valor umbral X_R previamente determinado, el medio de cálculo (5) construye una señal correctora $C(t)$ que envía al medio de salida (6). El medio de cálculo (5) puede ser, por ejemplo, un circuito electrónico, un DSP, una FPGA, un microcontrolador o estar implementado en un programa de ordenador.

- Un medio de salida (6), que recibe la señal correctiva $C(t)$ del medio de cálculo (5) y la envía al sistema maestro (2).

Además de los medios mencionados, es obvio para un experto en la materia que el aparato de la invención debe incluir un medio de alimentación y/o medios de almacenamiento.

Así, como se muestra en la Figura 5, un circuito electrónico maestro (2) simula, mediante las ecuaciones dinámicas del modelo de FitzHugh-Nagumo, el comportamiento de un sistema excitable biológico como una neurona o tejido cardíaco. Para controlar los impulsos eléctricos emitidos por el circuito maestro-neurona (2), se emplea un aparato (1) de acuerdo con la presente invención, dispuesto en la parte inferior de la figura y también implementado como un circuito electrónico. El aparato (1) integra el medio de entrada (4), el medio de cálculo (5) y el medio de salida (6). En la Figura 6 se muestra la respuesta $x(t)$ del circuito maestro-neurona (2) (pulsos eléctricos grandes en la parte inferior de la Figura 6) a perturbaciones $I(t)$ aleatorias (pulsos eléctricos pequeños en la parte superior de la Figura 6) cuando no se emplea ningún mecanismo de control. En la Figura 7 se muestra cómo se controlan los pulsos eléctricos al enviar al circuito maestro-neurona (2) una señal correctora $C(t)$ cuando el discípulo (que no se enseña en estas figuras) ha cruzado un valor umbral X_R .

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro, **caracterizado** porque comprende los siguientes pasos:

(a) modelar la conducta del sistema dinámico maestro mediante un sistema discípulo, de acuerdo con las ecuaciones:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f[x(t)] + I(t) \\ \dot{y}(t) &= f[y(t)] + K[x(t) - y(t - \tau)]\end{aligned}$$

donde:

$x(t)$ describe el comportamiento sistema maestro;

$y(t)$ describe el comportamiento sistema discípulo;

$f(x)$ define el sistema dinámico bajo consideración;

$I(t)$ es una señal externa que actúa sobre la dinámica del sistema dinámico maestro;

K es una función general de acoplamiento que satisface $K[0] = 0$;

τ es el tiempo de retraso en el bucle de retroalimentación del sistema discípulo.

(b) construir una señal correctiva $C(t)$;

(c) enviar la señal correctiva $C(t)$ al sistema dinámico maestro, de manera que su dinámica se modifique temporalmente a:

$$\dot{x}(t) = f[x(t)] + C(t)$$

2. Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el sistema dinámico maestro es un sistema dinámico caótico.

3. Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el sistema dinámico maestro es tejido biológico.

4. Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque el tejido biológico es uno de entre los siguientes: una neurona y tejido cardíaco.

5. Procedimiento de control de un sistema dinámico caótico maestro de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el sistema dinámico es un uno de entre los siguientes: circuito electrónico, una mesa antivibración y la red eléctrica.

6. Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la señal $C(t)$ está formada por pulsos.

7. Procedimiento de control de un sistema dinámico maestro de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado** porque los pulsos son de amplitud constante.

8. Procedimiento de control de un sistema dinámico caótico maestro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la operación de modelar la conducta del sistema dinámico caótico maestro se realiza mediante uno de los siguientes dispositivos: un PC, un circuito electrónico, un DSP, una FPGA y un microcontrolador.

9. Programa de ordenador que comprende instrucciones de programa que provocan que un ordenador lleve a cabo las operaciones de los procedimientos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

10. Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** porque está almacenado en unos medios de almacenamiento.

ES 2 345 227 A1

11. Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** porque se transmite a través de una señal portadora.

12. Aparato (1) de control de un sistema dinámico maestro (2), **caracterizado** porque comprende los siguientes elementos:

un medio de entrada (4), que recibe una $x(t)$ señal que **caracteriza** el comportamiento del sistema dinámico maestro (2);

$$\dot{x}(t) = f[x(t)] + I(t)$$

un medio de cálculo (5), que recibe la señal $x(t)$ del medio de entrada (4) y simula el comportamiento del dispositivo dinámico maestro (2) de acuerdo con la ecuación:

$$\dot{y}(t) = f[y(t)] + K[x(t) - y(t - \tau)]$$

y construye una señal correctiva $C(t)$;

un medio de salida (6), que envía la señal correctiva $C(t)$ al sistema dinámico maestro (2).

13. Aparato (1) de control de un sistema dinámico maestro (2) de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado** porque el medio de cálculo (5) es uno de los siguientes dispositivos: un PC, un microcontrolador, un DSP, una FPGA y un circuito electrónico.

14. Aparato (1) de control de un sistema dinámico maestro (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 y 13, **caracterizado** porque el medio de entrada (4) comprende un par de electrodos.

15. Aparato (1) de control de un sistema dinámico maestro (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12, 13 y 14, **caracterizado** porque el medio de salida (6) comprende un par de electrodos.

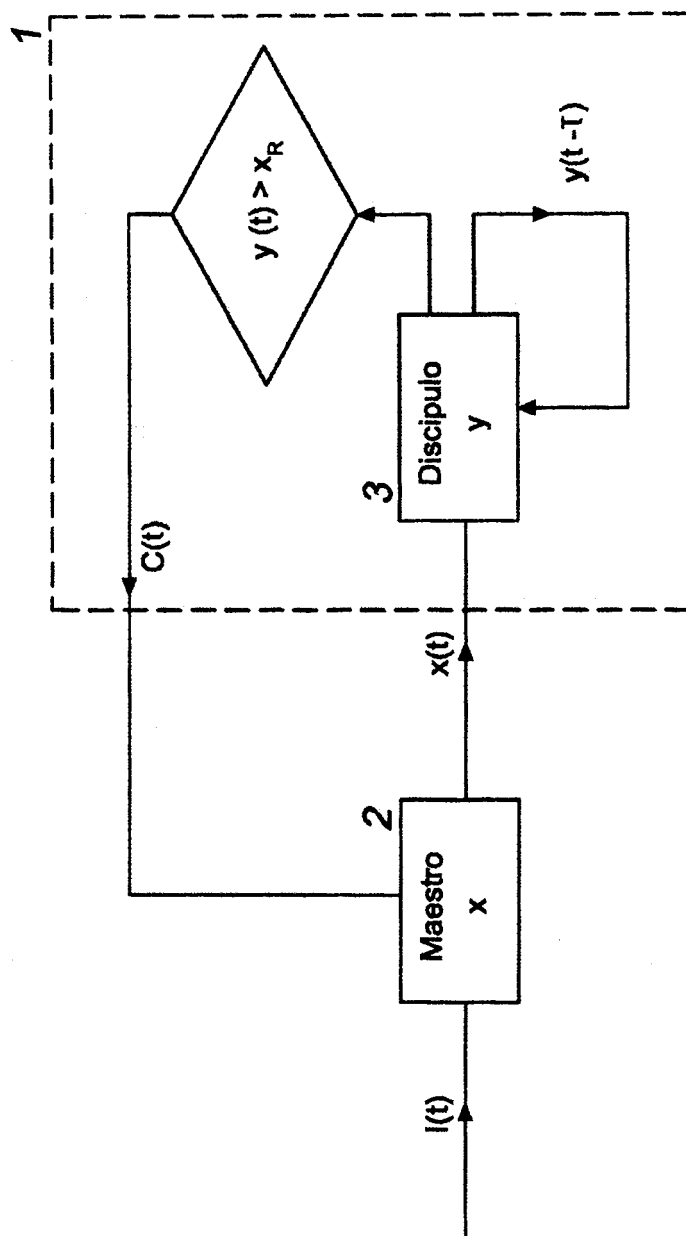


FIG. 1

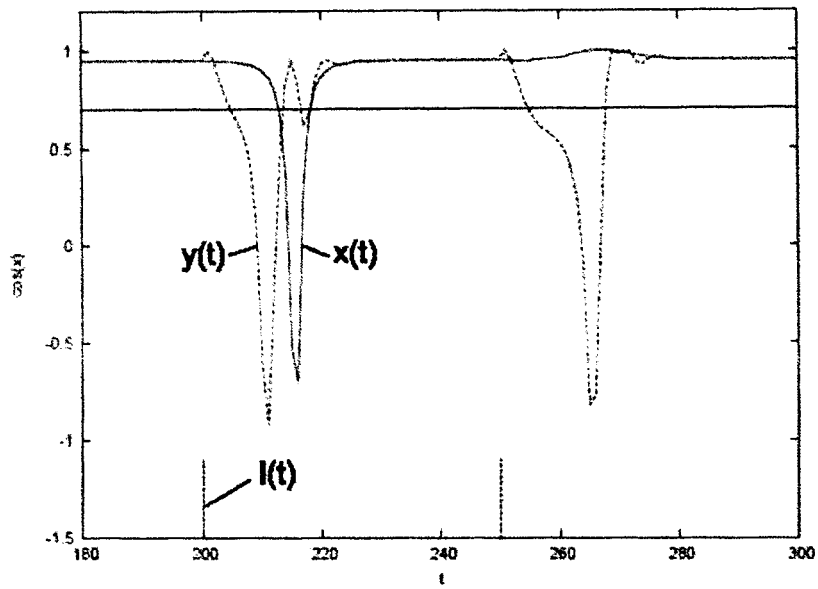


FIG. 2

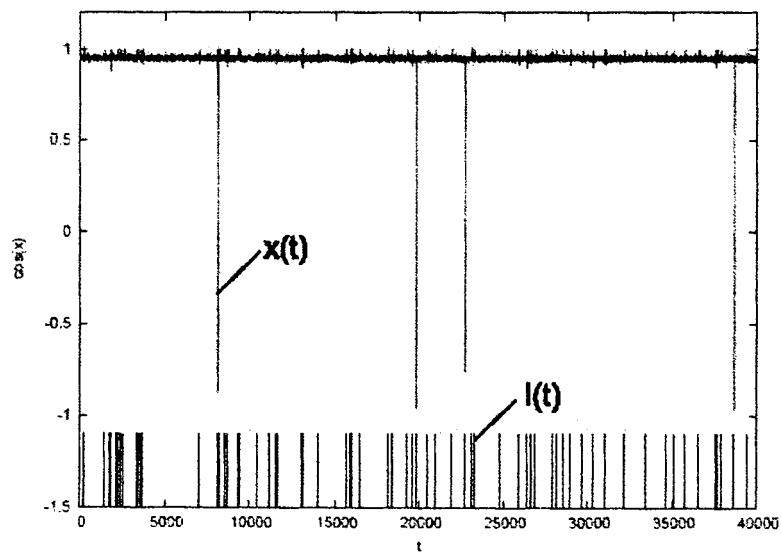


FIG. 3

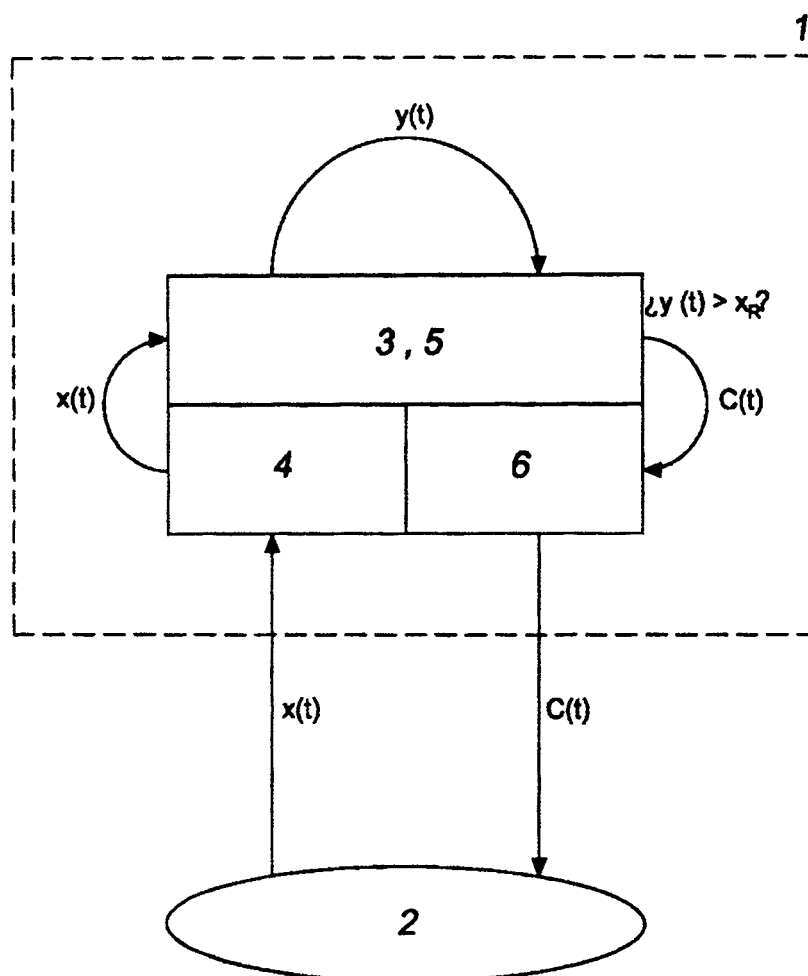


FIG. 4

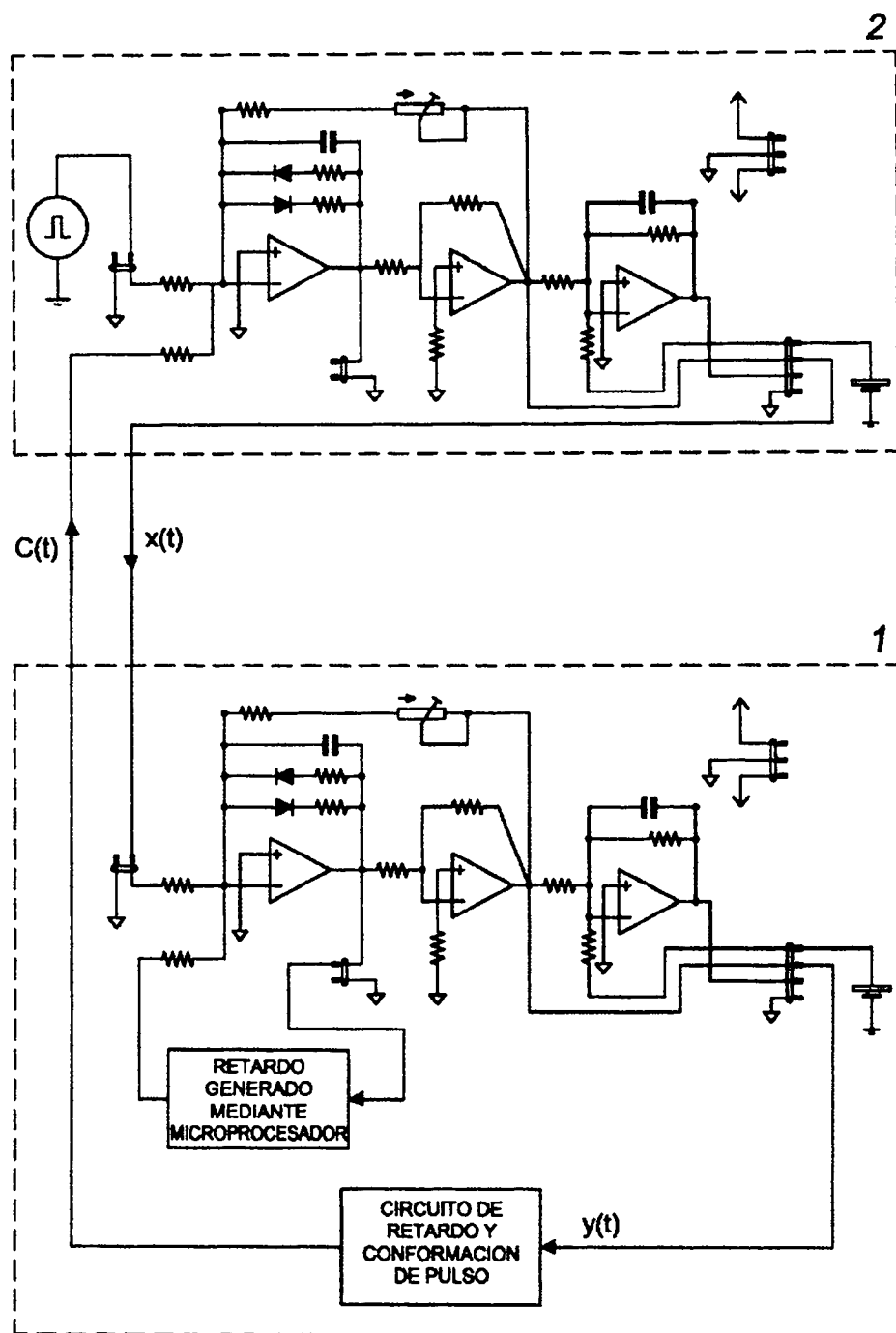


FIG. 5



FIG. 6

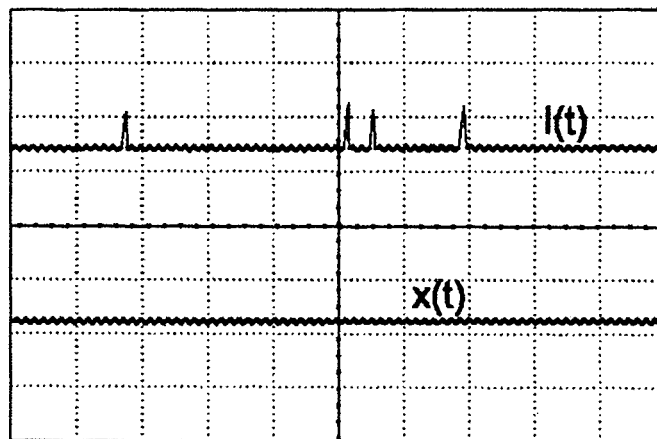


FIG. 7



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 345 227

⑫ Nº de solicitud: 200800727

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 12.03.2008

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **G05B 17/02** (2006.01)
G05B 19/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	ZHENYA YAN, "A new scheme to generalized (lag, anticipated and complete) synchronization in chaotic and hyperchaotic systems" en Chaos, AIP,USA, marzo 2005, vol. 15, nº 1, páginas 13101-10	1-15
A	LI FANG et al. "Robust synchronization of uncertain chaotic systems", en Chinese Physics, marzo 2006, vol. 15, nº 3, páginas 507-512.	1-15
A	CISZAK M. et al. "Approach to predictability via anticipated synchronization" en Physical review, USA, octubre 2005, vol. 72, nº 4 Pt 2, páginas 46218.	1-15
A	CISZAK M. et al. "Anticipating the response of excitable systems driven by random forces" en Physical review letters, USA, 23 mayo 2003, vol. 90, nº 20, páginas 204102.	1-15
A	CISZAK M. et al. "Coupling and feedback effects in excitable systems: anticipated synchronization" en Modern Physics Letters B, Singapur, 10 octubre 2004, vol. 18, nº 23, páginas 1135-115	1-15
A	TORAL R. et al. "Anticipated synchronization in neuronal systems subject to noise" en Proceedings of the SPIE, USA, 2003, vol. 5114, páginas 261-267.	1-15
A	AGUILAR-LÓPEZ et al. "Synchronization of a coupled Hodgkin-Huxley neurons via high order sliding-mode feedback" en Chaos, Solitons and Fractals, Oxford,GB, 10 marzo 2008, vol. 37, nº 2 páginas 539-546.	1-15

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
02.09.2010

Examinador
A. Cardenas Villar

Página
1/5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 345 227

⑫ Nº de solicitud: 200800727

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 12.03.2008

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **G05B 17/02** (2006.01)
G05B 19/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	TORIKAI H et al. "Master-slave synchronization of pulse-coupled bifurcating neurons", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Japón, marzo 2004, vol. E87-A, nº 3, páginas 740-747.	1-15

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

02.09.2010

Examinador

A. Cardenas Villar

Página

2/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G05B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC,WPI,NPL,INSPEC,BIOSIS,MEDLINE

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 02.09.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1 - 15	SÍ
	Reivindicaciones		NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1 - 15	SÍ
	Reivindicaciones		NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	Zhenya Yan, "A new scheme to generalized (lag, anticipated and complete) synchronization in chaotic and hyperchaotic systems" en Chaos, AIP, USA, marzo 2005, vol. 15, nº 1, páginas 13101-10	03-2005
D02	Li Fang et al. "Robust synchronization of uncertain chaotic systems", en Chinese Physics, marzo 2006, vol. 15, nº 3, páginas 507 - 512	03-2006
D03	Ciszak M. et al. "Approach to predictability via anticipated synchronization" en Physical review, USA, octubre 2005, vol. 72, nº 4 Pt 2, páginas 46218	10-2005
D04	Ciszak M. et al. "Anticipating the response of excitable systems driven by random forces" en Physical review letters, USA, 23 mayo 2003, vol. 90, nº 20, páginas 204102	05-2003
D05	Ciszak M. et al. "Coupling and feedback effects in excitable systems: anticipated synchronization" en Modern Physics Letters B, Singapur, 10 octubre 2004, vol. 18, nº 23, páginas 1135 - 1155	10-2004
D06	Toral R. et al. "Anticipated synchronization in neuronal systems subject to noise" en Proceedings of the SPIE, USA, 2003, vol. 5114, páginas 261-267	2003
D07	Aguilar-López et al. "Synchronization of a coupled Hodgkin- Huxley neurons via high order sliding-mode feedback" en Chaos, Solitons and Fractals, Oxford, GB, 10 marzo 2008, vol. 37, nº 2, páginas 539 - 546	10-03-2008
D08	Torikai H et al. "Master-slave synchronization of pulse-coupled bifurcating neurons", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Japón, marzo 2004, vol. E87-A, nº 3, páginas 740 - 747	03-2004

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La solicitud de patente en estudio tiene una reivindicación independiente de procedimiento (la nº 1) y una de aparato (la nº 12). La reivindicación nº 1 se refiere a un procedimiento de control de un sistema dinámico maestro que comprende una serie de etapas: modela la conducta del sistema dinámico maestro mediante un sistema discípulo de acuerdo con un conjunto de ecuaciones (especificado en la parte caracterizadora de dicha reivindicación), construye una señal correctiva y envía dicha señal correctiva al sistema dinámico maestro para modificar temporalmente su dinámica de una manera determinada.

El objeto de la invención está basado en la posibilidad de que un sistema discípulo es capaz de anticipar la conducta de un sistema dinámico maestro incluso si en la ecuación que modela el comportamiento del discípulo no se incluye la señal externa y si se consideran funciones de acoplamiento no lineales.

En el estado de la técnica es conocido el esquema de sincronización llamado "sincronización anticipada" y los documentos D03 - D06 de los propios autores se refieren específicamente a esquemas de sincronización anticipada. Los documentos D01 - D02 se refieren a esquemas generalizados o unificados (incluyendo sincronización anticipada) y los documentos D07 - D08 describen específicamente procesos de sincronización neuronal.

Aunque dichos documentos describen el estado de la técnica no afectan ni a la novedad ni a la actividad inventiva según lo especificado en los artículos 6 y 8 de la LP