(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 483 596**

(21) Número de solicitud: 201300152

(51) Int. CI.:

***A61B 5/00*** (2006.01)
***A61M 19/00*** (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A2

(22) Fecha de presentación:

**06.02.2013**

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

**06.08.2014**

(71) Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA (100.0%)**
**OTRI. Edificio Central Universidad, Delgado Barreto s/n**
**38201 LA LAGUNA (Sta. Cruz de Tenerife) ES**

(72) Inventor/es:

**MÉNDEZ PÈREZ, Juan Albino;**
**REBOSO MORALES , Héctor ;**
**TORRES ÁLVAREZ, Santiago;**
**MARRERO RAMOS , Ayoze;**
**REBOSO MORALES, Jose Antonio y**
**LEÓN FRAGOSO, Ana M.**

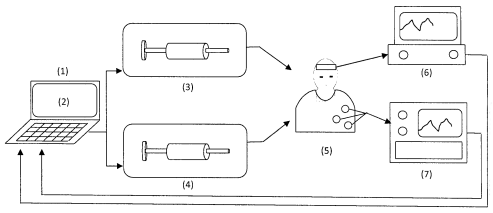
(54) Título: **Sistema de control fuzzy multivariable para la regulación simultánea del estado hipnótico y analgésico de un paciente**

(57) Resumen:

Sistema de control fuzzy multivariable para la regulación simultánea del estado hipnótico y analgésico de un paciente.

Sistema completo de administración automática de fármacos en pacientes sometidos a intervención quirúrgica, en los que se desea regular su grado de hipnosis y analgesia. La solución aportada es un único controlador basado en lógica difusa que determina simultáneamente las velocidades de infusión de los fármacos, los cuales serán administrados mediante sendas bombas. La medida de las variables a controlar se realizará mediante un monitor del BIS y un monitor del dolor. La invención aporta la solución para la comunicación entre los distintos dispositivos y un PC de control, con el software necesario para la monitorización de variables, su representación gráfica, su almacenamiento y la gestión de alarmas que se pudieran producir durante la intervención. El aspecto más relevante de la invención es la actuación sobre ambos fármacos mediante un único controlador, diseñado con reglas lingüísticas obtenidas del conocimiento experto de la respuesta de pacientes.

Figura 1




ES 2 483 596 A2

**DESCRIPCIÓN**

# Sistema de control fuzzy multivariable para la regulación simultánea del estado hipnótico y analgésico de un paciente

## Sector de la técnica

Ingeniería de Control. Ingeniería Electrónica.

## Introducción

Se describe un sistema de administración automática de fármacos en pacientes sometidos a intervención quirúrgica. La solución aportada es un único controlador que determina simultáneamente las velocidades de infusión de los fármacos para regular el grado de hipnosis y analgesia del paciente sometido a dicha intervención. El hecho de que sea un único controlador para infundir ambos fármacos es de especial relevancia, comparándose esta estrategia con otras invenciones similares que utilizan técnicas diferentes para el control de los estados anestésico y analgésico de pacientes.

El esquema de control está basado en lógica difusa, que permite transmitir fácilmente el conocimiento experto respecto a la dinámica de pacientes sometidos a la infusión de los fármacos en reglas de control.

La invención aporta, además, la solución a la conectividad entre dispositivos e implementación del controlador en un PC portátil que contiene un software gráfico para la monitorización y control de las variables de interés, el almacenamiento de las mismas para su uso posterior y la gestión de alarmas.

## Estado de la técnica

En la actualidad, la infusión automatizada de anestesia intravenosa se fundamenta en el uso de modelos que describen la difusión de los fármacos en el cuerpo y su eliminación metabólica. Para describir este proceso generalmente se emplean modelos compartimentales, que se basan en definir un conjunto de compartimentos entre los cuales los fármacos se van distribuyendo (farmacocinética). La infusión se realiza en un compartimento central y desde este compartimento se difunde hasta los compartimentos lento y rápido, cada uno caracterizado con un volumen y una dinámica propia. Se define también un cuarto compartimento, de volumen cero, que representa el lugar donde el fármaco produce el efecto (en hipnosis sería el cerebro). Los modelos comunes basados en este planteamiento

son el modelo de Marsh [1] y el modelo de Schnider [2], los cuales proponen una parametrización del modelo compartimental diferente para describir el comportamiento dinámico del paciente. De estas dos alternativas el modelo de Schnider es el más ampliamente aceptado en anestesiología. Este modelo define la evolución de las concentraciones de fármaco en los distintos compartimentos en función de la velocidad de infusión. Este modelo aparece en función de los parámetros característicos del paciente: altura, peso, sexo y edad.

Existen dos alternativas para el control automático de la infusión de anestesia. La primera recibe el nombre de Infusión Controlada por Objetivo (*Target Controlled Infusion, TCI).* Esta técnica consiste en mantener la concentración de fármaco deseada en plasma (compartimento central) o en el sitio efecto para conseguir el objetivo hipnótico deseado. A partir de los modelos farmacocinéticos mencionados se puede averiguar cuál es la dosis correcta de fármaco que debe administrarse al paciente. La función del anestesista en este proceso sería la de indicar al sistema, generalmente tomando información de los signos clínicos del paciente, cuál debe ser la concentración objetivo en cada instante. Un aspecto a tener en cuenta en esta estrategia es que en la práctica rutinaria la medida de la concentración de fármaco en sangre no está disponible, por lo que no existe certeza completa de que el sistema consiga los niveles de concentración objetivo en el paciente.

Un avance más reciente en este sentido es la aplicación de un planteamiento de bucle cerrado para la infusión de fármaco. Esta segunda alternativa de control trata de usar alguna medida indicativa del estado anestésico del paciente para calcular la dosis de fármaco a infundir. De entre las distintas alternativas usadas para medir el grado de inconsciencia del paciente, las más ampliamente aceptada es la que se basa en la medida del índice biespectral (BIS). El BIS es una variable adimensional que varía entre 100 (despierto) y 0 (inactividad eléctrica cerebral) y que presenta una buena correlación con el nivel hipnótico del paciente. En la anestesia general la banda de BIS que se considera como aceptable es la que comprende entre 40 y 60. Suele ser habitual considerar un BIS objetivo de 50 en las intervenciones quirúrgicas.

En definitiva, existen dos alternativas para el diseño de controladores del estado hipnótico de pacientes. Una de ellas se basa en que el controlador use el BIS para decidir el valor de concentración objetivo deseada en un sistema TCI, siendo el propio sistema TCI el que se encargaría de calcular la velocidad de infusión adecuada. La segunda alternativa es aquella en la que el controlador, usando el BIS, calcula directamente la velocidad de infusión adecuada.

Un segundo aspecto a tener en cuenta por parte del anestesista en la intervención quirúrgica, además de la profundidad hipnótica del paciente, es la regulación del nivel de dolor que está soportando el

paciente. En la práctica rutinaria, el anestesista, a partir de una serie de signos físicos, puede corregir la dosis de fármaco (analgésico) para garantizar ausencia de sufrimiento.

La inclusión del control de analgesia es un elemento que puede mejorar notablemente el proceso anestésico. El objetivo es infundir la dosis adecuada de analgésico en cada paciente y en cada intervención para evitar sufrimiento en el paciente. Los episodios de estrés por estímulos dolorosos en el paciente pueden conllevar problemas por dolor tras la operación. Estos problemas pueden restringirse al periodo de recuperación o pueden extenderse durante periodos de tiempo largos, llegando en algunos casos a convertirse en crónicos. Por estas razones es importante mantener un estado analgésico en el paciente que se adecúe a las características del propio paciente y a las características de la intervención (ya que, dependiendo de la intervención, los estímulos son de diferente intensidad).

En este campo la ingeniería de control ha tenido muy pocos avances debido a la dificultad de disponer de un índice que mida el estado analgésico del paciente. La propuesta en este documento es usar la medida de la conductancia de la piel como indicativa del nivel de dolor. Esta variable procesada será usada en el controlador para poder dosificar el analgésico de forma adecuada, manteniendo el nivel de dolor del paciente en el deseado.

De este modo la propuesta se basaría en usar un controlador con dos variables de entrada y dos variables de salida, que controle simultáneamente tanto el nivel de hipnosis como el nivel de dolor. Para ello se empleará un controlador en lazo cerrado que calcula de forma directa las velocidades de infusión tanto del hipnótico como del analgésico.

La estrategia de control propuesta en esta invención es novedosa respecto a la variedad de aplicaciones de administración automática de anestesia, pero que funcionan en lazo abierto. Así, por ejemplo, existen propuestas que plantean solamente la automatización del control de hipnosis, como RUGLOOP o STANPUMP. A nivel comercial las bombas incorporan algoritmos para la infusión automática pero usando estrategias basadas en modelos estándar de pacientes, sin realimentación real de las variables de interés.

En la literatura se han documentado experiencias de control de anestesia automática para regular la hipnosis [3-7], pero no incorporan el control de analgesia, y además no disponen de la funcionalidad ni los algoritmos que se presentan en la aplicación. Algunos de estos algoritmos han sido descritos en solicitudes de patente, como el presentado en [5].

Respecto al control simultaneo de las dos variables, analgesia e hipnosis, las únicas referencias encontradas se describen en [8-10]. En el trabajo de Liu *et al.*, se describe un control en lazo cerrado para mantener el valor de BIS en torno al valor deseado, con una administración manual del anestésico remifentanilo. El objetivo del trabajo es comprobar la eficiencia de la administración de propofol en un esquema de control proporcional-derivativo (PD), contrastando los resultados con una infusión controlada mediante TCI. No se propone una infusión controlada de ambos fármacos en simultáneo, como propone la invención propuesta.

En el trabajo de Simanski *et al.*, nuevamente se plantea una estrategia de control para el valor de BIS, mediante la administración simultánea de los dos fármacos (propofol y remifentanil), pero sin ningún tipo de objetivo en cuanto a la regulación del estado analgésico del paciente. El objetivo del trabajo es evaluar la estrategia de control PD más acción integral propuesta mediante la realimentación de la variable a controlar (BIS).

El trabajo de Hemmerling *et al.* es el único que propone un control integral de las tres variables que componen el proceso anestésico: anestesia, analgesia y relajación muscular, mediante la acción conjunta de propofol, remifentanilo y rocuronio respectivamente. El sistema de control integral, denominado McSleepy, controla la infusión de anestésico y analgésico (la infusión del relajante muscular es manual). Para el segundo, sin embargo, utiliza medidas de presión arterial y ritmo cardiaco para derivar la acción de control. Los valores objetivos de dichas variables son establecidos en el preoperatorio para cada paciente. Este sistema se diferencia claramente de la invención propuesta en que se controla de forma individual las variables de interés, sin tener en cuenta en la administración de los fármacos el estado del resto de variables: se monitoriza el BIS únicamente para el control del estado hipnótico, y otras variables (ritmo cardíaco y la presión arterial) para el control del estado analgésico. Además, estas variables no miden directamente el nivel de dolor que se pretende controlar, sino que actúan como medidas reflejo del estado analgésico del paciente.

En el estado del arte, no se conocen sistemas que unifiquen el control automático multivariable en lazo cerrado de anestesia y analgesia. Un sistema de este tipo presenta una ventaja evidente respecto a los sistemas actuales de control independiente de variables presentes en el proceso anestésico.

En la práctica rutinaria no existen ni siquiera sistemas de control de analgesia. Los pocos investigadores que han trabajado sobre este tema no han abordado el problema simultáneo de controlar hipnosis y analgesia teniendo en cuenta la interacción entre las drogas en la determinación del estado del paciente. Además, las variables usadas generalmente como medidores del nivel analgésico se basan en la integración de varias variables (frecuencia cardiaca, presión arterial media,...).

En la presente invención, la medida que se usa como variable de realimentación es no invasiva y directamente nos da un valor que se correlaciona con el umbral de dolor del paciente. De forma resumida se podría decir que la propuesta que se plantea permite integrar las principales variables del proceso anestésico en un único sistema (no es necesario tener diferentes dispositivos controlando cada variable de forma independiente). La medida usada para la realimentación de la analgesia es sencilla de obtener y no necesita integración con otras variables. Esta ventaja resulta de gran interés debido a que no harán falta dispositivos auxiliares para medir el estado de otras variables (presión arterial, relajación muscular, ritmo cardíaco, etc.), con lo que disminuye la complejidad técnica a la hora de llevar a cabo la monitorización de las variables de interés durante la intervención quirúrgica.

En nuestro caso se trata de un procedimiento para el control automático de la administración de fármacos en pacientes sometidos a anestesia general. El procedimiento consiste en un software que se ejecuta en un PC portátil conectado a las bombas de infusión de hipnótico (propofol) y opioide (remifentanilo) y a los monitores que informan del estado hipnótico (monitor del índice biespectral, BIS) y del estado analgésico del paciente (medida de la conductancia de la piel).

Con este procedimiento, el anestesista va midiendo el estado del paciente y determina las dosis adecuadas de fármacos para conseguir el objetivo deseado de inconsciencia y analgesia. El anestesista dispone en el PC portátil de toda la información sobre estas variables y puede gobernar en lazo abierto o cerrado el proceso de infusión. El algoritmo de control implementado se basa en lógica difusa y tiene en cuenta la interacción entre los dos fármacos. La principal ventaja de este algoritmo es que permite trasladar de forma sencilla el conocimiento del experto médico al controlador automático. Al estar integradas las dos variables en un mismo monitor, el experto anestesista ve simplificada la tarea de monitorización y de actuación sobre los fármacos. Así, desde la interfaz diseñada puede variar tanto la configuración del controlador como actuar manualmente sobre cualquiera de las dos variables sin necesidad de manipular directamente cada dispositivo. Esto se diferencia claramente de las invenciones vigentes, en las que el control de las variables es independiente y no se necesita de una integración de variables para determinar el estado analgésico del paciente, sino que se extrae directamente una medida del mismo mediante el valor de conductancia de la piel.

## Descripción de la invención

Los sistemas habituales de infusión se basan en estimar la cantidad de fármaco a infundir a partir de modelos de pacientes. No obstante, el procedimiento descrito en esta memoria infunde el fármaco en función de las medidas reales del estado del paciente. El sistema propuesto propone un avance sobre los sistemas existentes que incluye tanto el control de hipnosis como el de analgesia. Las variables

medidas son el índice biespectral (BIS) para el estado hipnótico y la conductancia de la piel para el estado analgésico, a partir de las cuales se calcula la cantidad de fármaco que debe administrarse tanto de propofol (hipnosis) como de remifentanilo (analgesia). La estructura del sistema de control puede observarse en la Figura 1, donde se observan los dos monitores para las medidas de las variables a controlar conectados al paciente.

Dichas medidas son llevadas a un PC que se encarga de la monitorización de las variables del sistema (presentándolas al anestesista en un interfaz gráfico amigable) y del control de las mismas, ejecutando las órdenes de control oportunas a las dos bombas de infusión de fármaco. Además, la herramienta permite al anestesista atender de forma automática a alarmas por fallos en el hardware o situaciones de riesgo en el estado del paciente. Incluso el anestesista puede realizar simulaciones basadas en el estado actual del paciente que le facilite el proceso de toma de decisiones en quirófano. La herramienta también contempla un sistema de almacenamiento de datos para su posterior análisis.

En esta invención se usa una metodología basada en lógica borrosa (Figura 2) que permite diseñar un controlador basado en reglas del tipo "Si A entonces B". Se emplean cuatro variables de entrada: el BIS y su derivada, y la medida del dolor y su derivada. Existen dos salidas que son el incremento en la velocidad de infusión de propofol y de reminfentanilo. Además el controlador dispone de un sistema adaptativo para adecuar su funcionamiento a cada paciente. Los objetivos generales de control de esta invención son:

- Mantener el BIS en torno al objetivo rechazando las perturbaciones que lo desvíen de este valor.
- Mantener al paciente en un nivel adecuado de analgesia de acuerdo a la intervención quirúrgica.
- Adecuación del nivel de analgesia a estímulos dolorosos previstos en el futuro inmediato.

La ejecución del controlador basado en reglas es de la siguiente forma. El controlador determina los niveles de pertenencia de las variables medidas (nivel de hipnosis y nivel de dolor), y de sus derivadas, a los conjuntos difusos definidos para las mismas, que se asocian a variables lingüísticas que se usarán en los precedentes de la base de reglas. Este proceso recibe el nombre de fuzzificación. A continuación aplica dichas reglas, infiriendo un conjunto de salida por agregación de los resultados de las reglas. A este proceso se le denomina inferencia. Por último, de este conjunto se extrae un valor numérico representativo del mismo, el cual es la salida del controlador. Este último paso recibe el nombre de defuzzificación.

En esta invención, el controlador aplicará una única base de reglas para la determinación de dos variables de salida, en función de los valores tomados por las mencionadas cuatro variables de entrada. El conocimiento experto del comportamiento dinámico del paciente a la infusión de los fármacos empleados permite diseñar una base de reglas que contemple la interactuación entre los fármacos y permita la regulación simultánea de los estados anestésico y analgésico del paciente.

A modo de ejemplo considérese una situación en la que la medida observada es:

BIS = 32, con un incremento de 8.5 unidades por unidad de tiempo
Dolor = 0.03, con un incremento de 0.7 unidades por unidad de tiempo

Tras el proceso de fuzzificación, inferencia y defuzzificación el sistema de control produce como nuevo valor una bajada acusada de propofol y un valor mínimo de infusión de remifentanilo. En el caso de control independiente de las variables, el resultado hubiera sido una infusión nula de propofol y mínima de remifentanilo. En el caso siguiente:

BIS = 32, con un incremento de 8.5 unidades por unidad de tiempo
Dolor = 0.36, con un incremento de 0.7 unidades por unidad de tiempo

el resultado de la acción de control es mantener la infusión de propofol y maximizar la infusión de remifentanilo. Aquí se tiene en cuenta que, dado el valor alto de dolor, se va a infundir remifentanilo, con lo que la administración del otro fármaco no debe ser tan fuerte como el caso anterior, pese a tener un valor idéntico de BIS y variación del mismo.

Con este ejemplo se pone de manifiesto que la existencia de un único controlador para determinar ambas velocidades de infusión redunda en un mejor comportamiento de la acción de control, ya que se tiene en cuenta la interacción entre los fármacos. Así, un control independiente provocaría una acción de control idéntica para el caso del propofol. Sin embargo, con el controlador propuesto, la acción de control en el segundo caso varía debido a la presencia de dolor en el paciente, con lo cual no es necesaria una dosis tan alta de anestésico ya que va a producirse una infusión alta de analgésico.

## Descripción de las figuras

Figura 1. Estructura del sistema de control. (1).- Monitorización y Control, (2).- PC portátil, (3).- Bomba de propofol, (4).- Bomba de remifentanilo, (5).- PACIENTE, (6).- Monitor de hipnosis, (7).- Monitor de dolor.

Figura 2. Estructura del sistema de control difuso. (8).- Error en el BIS, (9).- Dolor, (10).- d/dt (pendiente) (11).- Sistema de control Difuso (FCS), (12).- ΔVel. Prop., (13).- ΔVel. Remi.

Figura 3. Algoritmo de control implementado en el PC portátil.
(14).- Toma de datos a través de interfaz RS-232: BIS/Dolor
(15).- Calcular variaciones en la infusión con control difuso: [ΔVel.Prop, ΔVel.Remi.] = FCS(BIS, ΔBIS, Dolor, ΔDolor)
(16).- Aplicar la nueva velocidad de infusión a los perfusores a través de interfaz RS-232: Vel. Perfusor(t) = Vel. Perfusor(t-1) + ΔVel. Prop./Remi
(17).- Capturar nueva muestra a través de interfaz RS-232: BIS/Dolor
(18).- ¿Han transcurrido X pasos?
(19).- Sí
(20).- No
(21).- Fin de infusión

## Modos de realización de la invención

La invención funciona con tres elementos fundamentales:

- Sistema de monitorización y control (PC portátil)
- Elementos de medida de las variables de interés: monitor de BIS y monitor de dolor.
- Elementos de actuación: bomba de infusión de analgésico y bomba de infusión de propofol (ambas bombas tienen las mismas características técnicas).

El algoritmo de control diseñado integra las dos variables (hipnosis y analgesia) en un mismo controlador. No se trata de dos controladores de una única variable, sino de un controlador que tiene en cuenta las dos variables. De este modo se tiene en cuenta implícitamente los efectos sinérgicos entre fármacos y se puede optimizar el uso de los mismos.

El algoritmo de monitorización y control se ejecuta desde el PC portátil. La ejecución del subsistema de control se corresponde con el diagrama de flujo de la figura 3. El programa se completa con un módulo de monitorización del estado del paciente con registro de información y presentación gráfica en la pantalla principal.

Paralelamente a estos módulos se ejecuta un módulo de seguridad y alarmas para detectar incidencias y alertar al anestesista de las mismas. Las funciones principales de este módulo de alarmas son las de comprobación de la comunicación entre los dispositivos, detección de errores en los datos recibidos causados por interferencias u otras causas, monitorización del índice de calidad de las señales, activación de alarmas, y puesta en marcha de acciones de emergencia en caso necesario.

**REFERENCIAS**

[1] B Marsh, M White, N Morton, GNC Kenny. Pharmacokinetic model driven infusion of propofol in children, Br.J.Anaesth. 67 (1991) 41-48.

[2] TW Schnider, CF Minto, PL Gambus, C Andresen, DB Goodale, SL Shafer, et al. The influence of method of administration and covariates on the pharmacokinetics of propofol in adult volunteers, Anesthesiology. 88 (1998) 1170-1182.

[3] AR Absalom, GN Kenny. Closed-loop control of propofol anaesthesia using bispectral index: performance assessment in patients receiving computer-controlled propofol and manually controlled remifentanil infusions for minor surgery Br.J.Anaesth. 90 (2003) 737-741.

[4] S Locher, KS Stadler, T Boehlen, T Bouillon, D Leibundgut, PM Schumacher, et al. A new closed-loop control system for isoflurane using bispectral index outperforms manual control, Anesthesiology. 101 (2004) 591-602.

[5] J Agarwal, GD Puri, PJ Mathew. Comparison of closed loop vs. manual administration of propofol using the Bispectral index in cardiac surgery Acta Anaesthesiol.Scand. 53 (2009) 390-397.

[6] T De Smet, MMRF Struys, MM Neckebroek, KV den Hauwe, SBS Bonte, EPDS Mortier. The Accuracy and Clinical Feasibility of a New Bayesian-Based Closed-Loop Control System for Propofol Administration Using the Bispectral Index as a Controlled Variable, Anesthesia & Analgesia. 107 (2008) 1200-1210.

[7] N Liu, T Chazot, A Genty, A Landais, A Restoux, K McGee, et al. Titration of propofol for anesthetic induction and maintenance guided by the bispectral index: Closed-loop versus manual control. A prospective, randomized, multicenter study, Anesthesiology. 104 (2006) 686-695.

[8] N Liu, T Chazot, S Hamada, A Landais, N Boichut, C Dussaussoy, et al. Closed-Loop Coadministration of Propofol and Remifentanil Guided by Bispectral Index: A Randomized Multicenter Study Anesth.Analg. (2011).

[9] O Simanski, M Janda, A Schubert, J Bajorat, R Hofmockel, B Lampe. Progress of automatic drug delivery in anaesthesia-the 'Rostock assistant system for anaesthesia control (RAN)', Int J Adapt Control Signal Process. 23 (2009) 504-521.

[10] TM Hemmerling, S Charabati. Mcsleepy - A completely Automatic Anesthesia Delivery system, Proceeedings of 2009 Annual Meeting of the American Society Anesthesiologists. (1999).

## REIVINDICACIONES

1.- Sistema automático para el control simultáneo de la hipnosis y la analgesia, mediante un único controlador, en pacientes sometidos a intervención quirúrgica con anestesia general, caracterizado por: un sistema de monitorización y control, un sistema para la medida del BIS y el dolor en un mismo controlador, una bomba de infusión de analgésico, una bomba de infusión de sustancia hipnótica, y un algoritmo de control que integra las dos variables (hipnosis y analgesia) en un mismo controlador.

2.- El sistema de la reivindicación 1, donde se utiliza un algoritmo de control borroso que permite trasladar el conocimiento del experto médico de forma sencilla al sistema, no basado en modelos farmacocinéticos/farmacodinámicos.

3.- El sistema de la reivindicación 1, donde se utiliza una bomba que administra propofol intravenoso para la regulación de la hipnosis.

4.- El sistema de la reivindicación 1, donde se utiliza una bomba que administra remifentanilo intravenoso para la regulación de la analgesia.

5.- El sistema de la reivindicación 1, donde la medida de la hipnosis se realiza mediante un monitor del grado de hipnosis del paciente, que determina su valor de BIS.

6.- El sistema de la reivindicación 1, donde la medida de la analgesia se realiza mediante un monitor del dolor, del que se obtiene un valor para la conductancia de la piel (PPS).

7.- Procedimiento para el control simultáneo de la hipnosis y la analgesia mediante la aplicación de un algoritmo de control difuso caracterizado por:

- En una primera etapa, con las medidas del BIS y el índice de analgesia, se determinan los conjuntos difusos de entrada para el controlador.
- A continuación se evalúa, mediante el sistema de inferencia difusa, los conjuntos difusos de salida (uno para cada salida del controlador) como la agregación de los conjuntos obtenidos para cada regla de la base de reglas de inferencia.
- Por último, se determinan los valores numéricos de las salidas que determinan las velocidades de infusión de propofol y remifentanilo.

8.- Procedimiento descrito según la reivindicación 7, donde un único sistema borroso provee de forma simultánea las velocidades de infusión de los fármacos, permitiendo así un uso óptimo de los mismos al tener en cuenta sus interacciones en la dinámica del paciente.

Figura 1

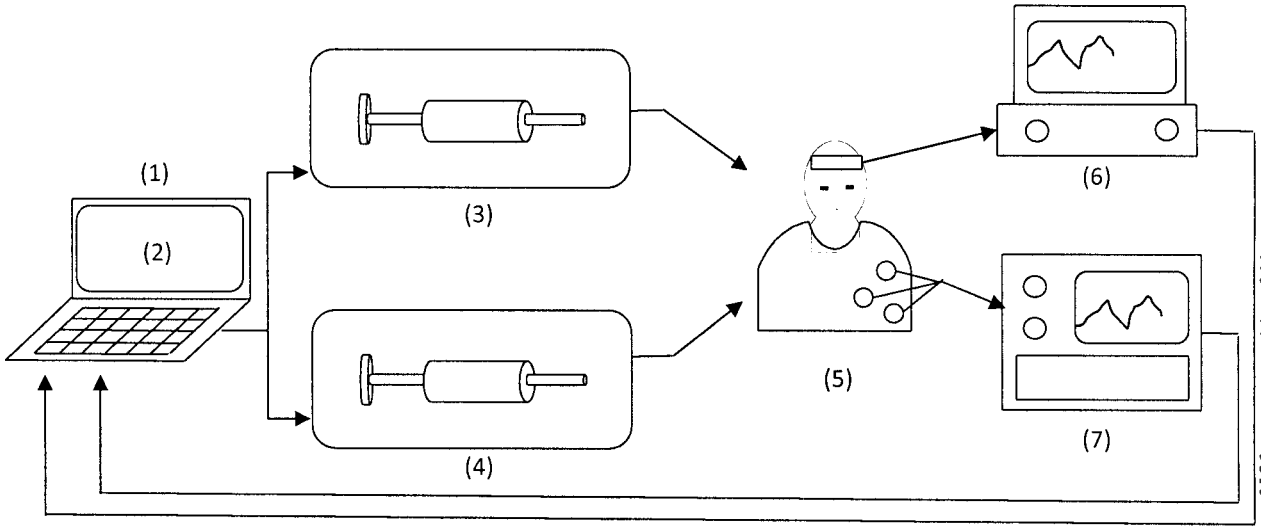



Figura 2

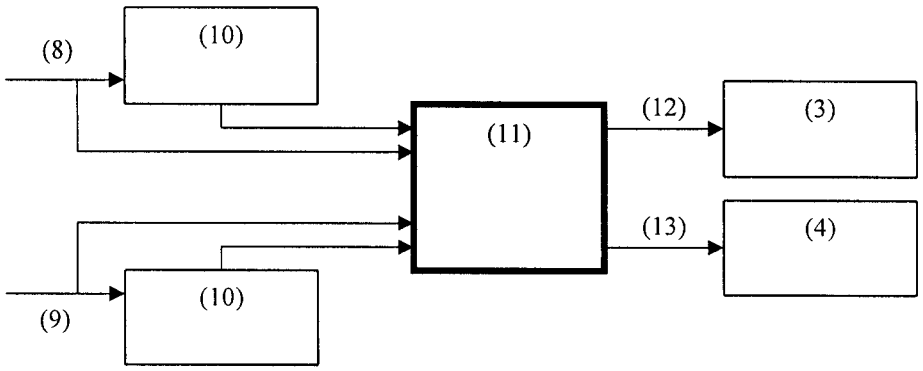
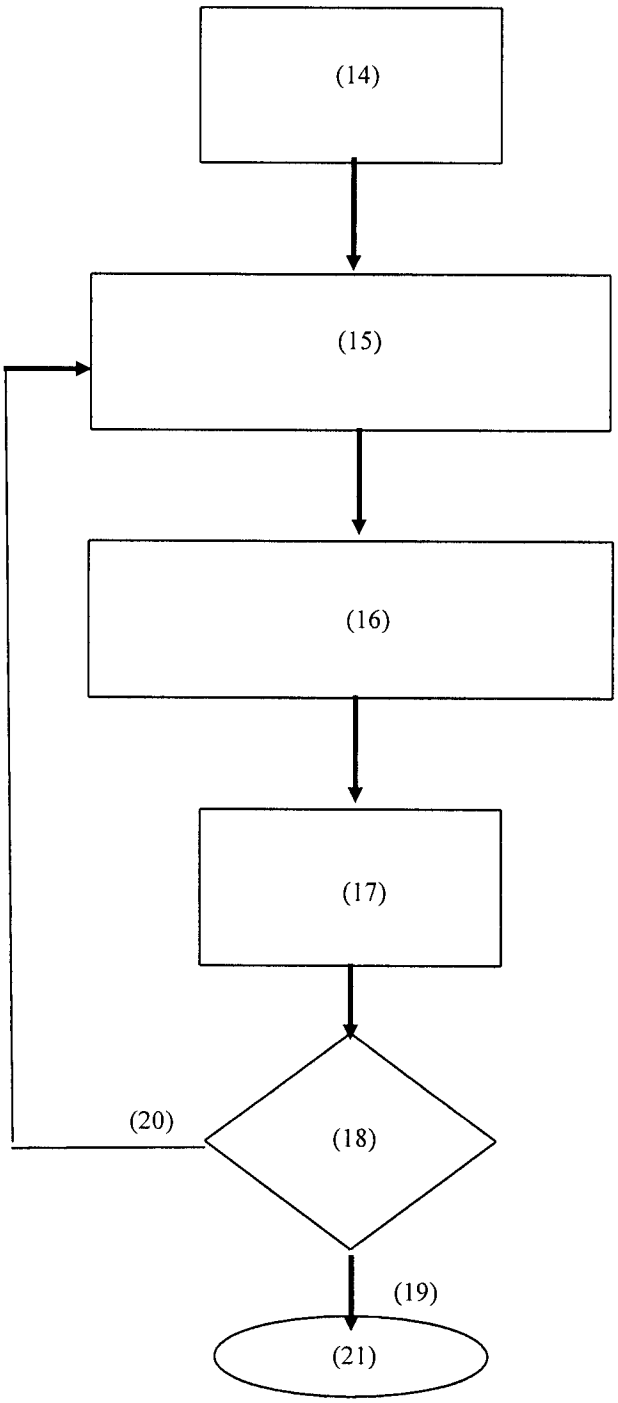



Figura 3