(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 394 451**

(51) Int. CI.:

G05B 17/02 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.08.2005 E 05788929 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **09.05.2007 EP 1782142**

(54) Título: **Sistema, dispositivo y métodos para actualizar modelos de monitorización de sistemas**

(30) Prioridad:

27.08.2004 US 605346 P
24.08.2005 US 210485

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.01.2013

(73) Titular/es:

SIEMENS CORPORATION (50.0%)
170 WOOD AVENUE SOUTH
ISELIN, NJ 08830, US y
SIEMENS ENERGY, INC. (50.0%)

(72) Inventor/es:

YUAN, CHAO;
NEUBAUER, CLAUS;
CATALTEPE, ZEHRA,YARD DOC DR. ISTANBUL TECHNIK UNIVERSITEI. U;
MCCORKLE, WESLEY;
BRUMMEL, HANS-GERD y
FANG, MING

(74) Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

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

Sistema, dispositivo y métodos para actualizar modelos de monitorización de sistemas

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional estadounidense número 60/605.346, titulada “model association in fleet monitoring system for large power plants”, presentada el 27 de agosto de 2004.

Campo de la invención

La invención se refiere al campo de la monitorización basada en sensores, y, más particularmente, a monitorizar sistemas de múltiples elementos usando múltiples sensores.

Antecedentes de la invención

Sistemas de múltiples elementos tales como una planta de generación de potencia pueden implicar la integración compleja de múltiples elementos que realizan de manera cooperativa una variedad de tareas para lograr una salida u objetivo deseado. Debido a esta complejidad, la monitorización de un sistema de este tipo para prevenir o mitigar un fallo o un nivel de rendimiento inferior al deseado puede ser en sí misma una tarea compleja.

Una técnica de monitorización en un entorno de este tipo utiliza modelos de estimación y sensores. Según esta técnica, los sensores generan señales a partir de las cuales se derivan vectores de sensor basados en medidas detectadas de entradas físicas u otras al sistema y salidas generadas por el sistema en respuesta a las entradas. Los vectores de sensor se usan inicialmente para “entrenar” estadísticamente el modelo de estimación. El modelo proporciona una relación matemática o estadística entre las entradas al sistema y las salidas correspondientes generadas por el sistema. Durante la monitorización posterior del sistema, se introducen datos sin procesar de los sensores en el modelo y se comparan con valores estimados obtenidos aplicando el modelo. Una desviación grande entre valores reales de los datos de sensor y los valores estimados generados por el modelo puede indicar que se ha producido un fallo de sistema.

La monitorización basada en sensor puede usarse en una variedad de configuraciones. Con frecuencia, pueden monitorizarse y controlarse eficazmente plantas de generación de potencia, procesos de fabricación, equipo médico complejo y una gran cantidad de otros sistemas y dispositivos que implican el funcionamiento coordinado de un gran número de componentes o procesos interrelacionados de manera eficaz mediante monitorización basada en sensores. De hecho, la monitorización basada en sensores puede emplearse ventajosamente en prácticamente cualquier entorno en el que se necesita monitorizar diversos parámetros específicos de sistema a lo largo del tiempo en condiciones variables.

Una planta de generación de potencia eléctrica proporciona un ejemplo útil de un sistema que puede emplear eficazmente la monitorización basada en sensores. La generación de potencia eléctrica implica la integración compleja de múltiples componentes de generación de potencia que funcionan de manera cooperativa para generar potencia eléctrica. Estos componentes pueden incluir turbinas de gas, generadores de vapor con recuperación de calor, turbinas de vapor y generadores eléctricos que en combinación convierten energía de carburante por medio de energía mecánica en energía eléctrica. Las variables de funcionamiento importantes que deben monitorizarse estrechamente para evaluar el rendimiento de toda la planta de potencia, o uno o más de sus componentes tales como una turbina de gas, incluyen la presión y temperatura en diversas zonas del sistema así como las vibraciones y otros parámetros importantes que revelan el estado del equipo del sistema.

Independientemente del entorno en el que se utiliza la monitorización basada en sensores, la precisión del modelo empleado puede ser un factor crítico si la monitorización es precisa. La precisión de un modelo depende con frecuencia de si el modelo está apropiadamente actualizado para reflejar cambios estructurales u otros en el sistema monitorizado con el modelo. Adicionalmente, pueden desarrollarse nuevos modelos que potenciarán la monitorización de un sistema. Puede aplicarse más de un modelo con respecto a un sistema monitorizado.

La tarea de actualizar modelos de monitorización de sistemas se hace más compleja cuando se monitoriza más de un sistema basándose en múltiples modelos. Si se actualiza una propiedad de un modelo subyacente que se aplica a dos o más sistemas, entonces modificar cada uno de los modelos según la propiedad actualizada requiere normalmente cargar cada modelo en uno o más dispositivos informáticos que realizan los diversos cálculos de modelo para cada sistema particular. Por tanto, la actualización de propiedades de modelos de estimación y la modificación de modelos de estimación en respuesta a la actualización deben realizarse normalmente con respecto a cada sistema por separado.

Realizar estas tareas por separado para un modelo de estimación según se aplica a sistemas diferentes puede ser una ardua tarea que requiere mucho tiempo para un ingeniero o técnico de diagnóstico. Esto es así especialmente dado que, en muchas situaciones, los ingenieros y técnicos en centros de diagnóstico pueden estar encargados de

monitorizar cientos de sistemas continuamente o de manera frecuente. Por consiguiente, existe una necesidad de una manera de actualizar de manera más efectiva y eficaz las propiedades de estimación y modificar modelos de monitorización de sistemas en respuesta a las actualizaciones cuando se usan tales modelos de estimación en la monitorización de grandes números de sistemas.

El documento WO 03/048876 se refiere a un módulo de simulación que incluye un modelo de diagrama de flujo que comprende una pluralidad de unidades de proceso (que representan cada una de manera unívoca un dispositivo que puede encontrarse en una planta de proceso), una pluralidad de unidades de que no son del proceso (que representan algo distinto de una pieza de hardware de funcionamiento) y una pluralidad de flujos (modelos que conectan unidades entre sí). El documento WO 03/048876 también da a conocer un módulo de reconciliación de datos que proporciona parámetros de modelo actualizados y datos al módulo de simulación.

Sumario de la invención

Pueden encontrarse aspectos de la presente invención en las reivindicaciones independientes adjuntas, a las que se hará referencia ahora. Pueden encontrarse realizaciones de la presente invención en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

La presente invención proporciona una asociación de modelos y un mecanismo relacionado para actualizar modelos de monitorización de sistemas a lo largo de un gran número de sistemas. La invención puede implementarse electrónicamente para efectuar ahorros de tiempo y recursos necesarios para actualizar modelos aplicados a los diversos sistemas.

Una realización de la invención es un método de asociación de modelos implementado electrónicamente para actualizar modelos de estimación usados para la monitorización de sistemas. El método puede incluir determinar una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación para cada uno de una pluralidad de sistemas monitorizados. Cada modelo de estimación puede basarse en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, y cada conjunto puede corresponder de manera unívoca a un modelo de estimación particular.

El método puede incluir además actualizar al menos una de las propiedades de estimación y propagar la al menos una propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza. Adicionalmente, el método puede incluir modificar cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza.

Otra realización de la invención es un sistema para actualizar una pluralidad de modelos de monitorización. El sistema puede incluir un módulo de asociación de modelos que, para cada uno de una pluralidad de sistemas monitorizados, determina una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación, en el que cada modelo de estimación se basa en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, y en el que cada conjunto corresponde de manera unívoca a un modelo de estimación particular.

Adicionalmente, el sistema puede incluir un módulo de actualización que actualiza al menos una de las propiedades de estimación y propaga la al menos una propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza. El sistema puede incluir además un módulo de modificación de modelos que modifica cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza.

Todavía otra realización de la invención es un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones informáticas. Las instrucciones informáticas pueden incluir instrucciones para determinar para cada uno de una pluralidad de sistemas monitorizados una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación. Las instrucciones informáticas también pueden incluir actualizar al menos una de las propiedades de estimación.

Las instrucciones informáticas pueden incluir además instrucciones para propagar al menos una propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza. Adicionalmente, las instrucciones informáticas pueden incluir instrucciones para modificar cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos se muestran realizaciones que se prefieren actualmente. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a las disposiciones e instrumentos precisos mostrados.

La figura 1 es una vista esquemática de un entorno a modo de ejemplo en el que se usa un sistema para actualizar modelos de monitorización de sistemas, según una realización de la invención.

La figura 2 es una vista esquemática de una realización del sistema para actualizar modelos de monitorización de sistemas mostrado en la figura 1.

La figura 3 es una representación esquemática de un esquema de asociación de modelos, según otra realización de la invención.

La figura 4 es una representación esquemática de una tabla de asignación construida y modificada según todavía otra realización de la invención.

La figura 5 es una vista esquemática de un sistema para actualizar modelos de monitorización de sistemas, según aún otra realización de la invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo de etapas a modo de ejemplo para un método de actualizar una pluralidad de modelos de monitorización de sistemas, según todavía otra realización de la invención.

La figura 7 es un diagrama de flujo de etapas a modo de ejemplo para un método de actualizar una pluralidad de modelos de monitorización de sistemas, según aún otra realización de la invención.

Descripción detallada

La figura 1 es un entorno 100 a modo de ejemplo en el que puede usarse un sistema 102 para actualizar una pluralidad de modelos de monitorización, según una realización de la invención. El entorno 100 incluye una pluralidad de sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Aunque se muestran de manera explícita tres de tales sistemas monitorizados, debe entenderse que en realizaciones alternativas el entorno 100 puede comprender más o menos tales sistemas monitorizados. Los sistemas 104, 104b, 104c monitorizados pueden comprender, más particularmente, sistemas de generación de potencia, plantas de procesamiento, dispositivos médicos de múltiples componentes u otros de tales sistemas caracterizados por el funcionamiento cooperativo de componentes múltiples o complejos en la generación de una o más salidas medibles en respuesta a una o más entradas medibles.

Cada uno de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados se monitoriza de manera ilustrativa mediante una pluralidad de sensores 106a, 106b, 106c, respectivamente. Los diversos sensores 106a, 106b, 106c pueden comprender transductores que generan respuestas de señal eléctrica a diversos fenómenos físicos correspondientes a las entradas y salidas de los respectivos sistemas. Por ejemplo, en el contexto de generación de potencia, si cada uno de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados comprende una planta de generación de potencia, la salida medida por sensor incluye no sólo la potencia eléctrica, sino otras salidas que son subproductos inevitables de generación de potencia eléctrica. Las otras salidas pueden incluir, por ejemplo, temperaturas, presiones y vibraciones de los principales componentes de generación de potencia tales como turbinas de gas, calderas, turbinas de vapor y generadores eléctricos. En el mismo contexto, las entradas a la planta de generación de potencia pueden incluir, por ejemplo, gas, aire y/o vapor.

Las señales de respuesta generadas por cada uno de la pluralidad de sensores 106a, 106b, 106c proporcionan datos, o vectores de sensor, que pueden usarse para monitorizar y detectar fallos en los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Las señales generadas por sensor pueden procesarse para producir datos cuantificables. Por ejemplo, las señales generadas por sensor pueden digitalizarse y manipularse mediante un procesador de señales digitales para generar los vectores de sensor. Otras técnicas de procesamiento conocidas, que incluyen el procesamiento de señales analógico, pueden usarse alternativamente o adicionalmente para generar datos cuantificables correspondientes al funcionamiento de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados.

Los vectores de sensor que resultan de las señales generadas por sensor se describen de manera ilustrativa aquí en el contexto de detección inferencial. La detección inferencial conlleva la construcción de modelos de estimación que modelan matemática o estadísticamente el funcionamiento de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Tales modelos de estimación proporcionan correlaciones entre las diversas entradas y salidas medidas de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Como entenderá fácilmente un experto habitual en la técnica, un modelo de estimación genera valores estimados que pueden compararse con valores reales para determinar uno o más residuos y para determinar intervalos aceptables para los residuos. Se indica un fallo si un residuo determinado durante el funcionamiento de un sistema monitorizado se encuentra fuera de su intervalo aceptable.

Los modelos que pueden usarse para tal sistema interferencial incluyen modelos de regresión convencionales tales como mínimos cuadrados así como más nuevos tales como variantes diferentes de modelos de regresión de núcleo y unos basados en redes neuronales. Resultará evidente a partir de la descripción en el presente documento que el sistema 102 según la invención no se limita mediante la naturaleza de los modelos particulares usados para monitorizar los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Independientemente del modelo particular empleado, la construcción del modelo se logra normalmente durante una fase de entrenamiento en la que se usan datos sin

procesar para “entrenar” un modelo particular para la creación de estimaciones de sensor, tal como entenderá un experto habitual en la técnica. Durante una fase de monitorización posterior, se introducen datos de sensor recién generados en el modelo o modelos así entrenados para detectar fallos en uno correspondiente de la pluralidad de sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados.

El sistema 102 se conecta de manera ilustrativa a una pluralidad de interfaces 108a, 108b, 108c de sensor-sistema, que, a su vez, están conectadas cada una a un subconjunto particular de la pluralidad de sensores 106a, 106b, 106 que monitorizan uno de la pluralidad de sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Las señales generadas por sensor se suministran de manera ilustrativa por cada uno de la pluralidad de sensores 106a, 106b, 106c a uno correspondiente de la pluralidad de sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. Las interfaces 108a, 108b, 108c de sensor-sistema realizan la función, ya descrita, de convertir las señales en datos cuantificables. Por consiguiente, las interfaces 108a, 108b, 108c de sensor-sistema pueden incluir uno o más multiplexores para multiplexar una pluralidad de señales generadas por sensor. Las interfaces 108a, 108b, 108c de sensor-sistema, según todavía otra realización, pueden comprender procesadores de señales digitales para procesar señales digitalizadas derivadas de las señales generadas por sensor. En una realización alternativa, estas funciones de procesamiento de señales se realizan mediante elementos incluidos dentro del propio sistema 102. Además, la pluralidad de sensores 106a, 106b, 106 pueden alternativamente conectarse directamente al sistema 102. Según cualquiera de estas diversas realizaciones, las señales procesadas se usan para construir modelos de estimación, como se describió anteriormente.

Tal como se ilustra esquemáticamente, los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados se monitorizan de manera remota por el sistema 102. Por tanto, el sistema puede ubicarse una distancia alejada de los sistemas monitorizados, por ejemplo, en un centro de diagnóstico (no mostrado) que está remota con respecto a los diversos sistemas que monitoriza. Con la monitorización remota, los vectores de sensor, que aquí comprenden los datos de funcionamiento relativos a los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados, se transfieren al sistema 102 continuamente o, alternativamente, en entregas de lotes comprendiendo cada lote datos que abarcan el rendimiento de un sistema monitorizado durante el tiempo desde la última entrega de lote de datos. Aunque el sistema 102 se ilustra aquí como que monitoriza de manera remota diversos sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados, debe entenderse que el sistema 102 puede comprender alternativamente múltiples sistemas implementados localmente en sistemas monitorizados separados. Los sistemas implementados localmente pueden enlazarse, por ejemplo, por medio de una red de comunicaciones de datos de manera que puede coordinarse la monitorización local. Además, puede implementarse un único sistema localmente para monitorizar múltiples componentes de un sistema monitorizado de la misma manera descrita.

Haciendo ahora referencia adicionalmente a la figura 2, se ilustra esquemáticamente una realización particular del sistema 102 para actualizar una pluralidad de modelos de monitorización. El sistema 102 incluye de manera ilustrativa un módulo 202 de asociación de modelos, un módulo 204 de actualización y un módulo 206 de modificación de modelos, cada uno en comunicación con el otro. Según una realización, uno o más de los módulos se implementan en uno o más circuitos conectados por cable dedicados para realizar las funciones respectivas descritas a continuación. Alternativamente, pueden implementarse uno o más de los módulos en un código legible por ordenador configurado para ejecutarse en un dispositivo de propósito general o de aplicación específica. En todavía otra realización, se implementan uno o más de los módulos en una combinación de conjunto de circuitos conectados por cable y código legible por ordenador.

De manera operativa, para cada uno de la pluralidad de sistemas 104a-c monitorizados, el módulo 202 de asociación de modelos determina una asociación entre los sistemas monitorizados y una pluralidad de modelos de estimación construidos como se describió anteriormente. Por tanto, cada uno particular de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados se asocia con al menos un modelo de estimación de este tipo. Sin embargo, uno o más de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados puede asociarse mediante el módulo de asociación de modelos con más de un modelo de estimación. Por ejemplo, un sistema 104a monitorizado puede asociarse sólo con un modelo de tipo de regresión. Otro sistema 104b monitorizado puede asociarse con un modelo de regresión, un modelo basado en red neuronal autoasociativa y/o un modelo de regresión de núcleo. Aún otro sistema 104c monitorizado puede asociarse sólo con dos de tales modelos.

Un ejemplo más generalizado del esquema 300 de asociación de modelos realizado por el módulo 202 de asociación de modelos se ilustra esquemáticamente en la figura 3. El esquema 300 de asociación de modelos asocia una pluralidad de J sistemas monitorizados, S_1, S_2, ..., S_J, con una pluralidad de K modelos de estimación, M_1, M_2, ..., M_K. Tal como se representa en este ejemplo, se modela un primer sistema, S_1, mediante, y por tanto se asocia con, sólo un modelo, M_1. Un segundo sistema, S_2, se asocia con tres modelos diferentes, M_1, M_2 y M_3, que, aunque son modelos distintos, son aplicables cada uno al segundo sistema, S_2. El sistema J-ésimo, S_J, se asocia con el segundo de los K modelos, M_2, así como el modelo K-ésimo, proporcionando cada uno diferentes aspectos de modelización del sistema, S_J. A partir de este ejemplo, resultará evidente fácilmente que el esquema 300 de asociación de modelos realizado por el módulo 202 de asociación de modelos es lo suficientemente general para abarcar otras diversas combinaciones posibles. Evidentemente, la combinación asociativa particular viene dictada principalmente por la naturaleza de los sistemas monitorizados así como los diferentes modelos usados.

Tal como se ilustra adicionalmente por el esquema de la figura 3, cada modelo particular de estimación se basa en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, $\{x_1, x_2,..., x_L\}^T$, $\{y_1, y_2, ..., y_K\}^T$ y $\{z_1, z_2, ..., z_L\}^T$. Las propiedades de estimación pueden incluir, por ejemplo, una lista de sensores, umbrales de sensores, periodos de entrenamiento, un algoritmo de modelo de estimación y/o diversos parámetros de algoritmo. Todas o alguna combinación de unas particulares de estas propiedades de estimación pueden ser aplicables a cada uno de los modelos diferentes. Por consiguiente, aunque pueden aplicarse una o más de las propiedades de estimación con respecto a más de un modelo, cada conjunto de propiedades de estimación corresponde de manera unívoca a un modelo de estimación particular.

El módulo 204 de actualización actualiza una o más de las propiedades de estimación en respuesta una entrada de usuario. Cuando se actualiza una propiedad de estimación, el módulo 204 de actualización propaga a continuación la propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la propiedad de estimación, que ahora se ha actualizado. Una propiedad de estimación actualizada sustituye a la versión previa a la actualización en el conjunto.

Una vez propagadas una o más propiedades de estimación actualizadas mediante el módulo 204 de actualización al uno o más modelos de estimación que corresponden a un único conjunto de propiedades de estimación que incluyen al menos una de las propiedades de estimación ahora actualizadas, se necesita revisar o actualizar esos modelos de estimación a los que se propagan propiedades de estimación actualizadas. La modificación se realiza mediante el módulo 206 de modificación de modelos, que modifica cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene al menos una propiedad de estimación que se actualiza. Tal como se describe más particularmente a continuación, un modelo de estimación que se ha modificado en respuesta a una actualización de una o más de las propiedades de estimación contenidas en el conjunto de propiedades correspondiente al modelo de estimación puede “volver a entrenarse” posteriormente para crear nuevos vectores de sensor generador por sensor.

En un caso particular, puede ser que un modelo de estimación usado para modelar uno o más de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados se considere que funciona insuficientemente con respecto a uno de los sistemas monitorizados. Esto puede deberse, por ejemplo, a un cambio en la estructura subyacente de uno de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados. A la inversa, cambios en la estructura de sistema u otras circunstancias pueden conducir a un modelo que se vuelve mejor adecuado para monitorizar uno de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados al que anteriormente no se aplicaba el modelo. Adicionalmente, pueden desarrollarse nuevos modelos para su uso con uno o más de los sistemas 104a, 104b, 104c monitorizados.

Por tanto, según otra realización de la invención, el módulo 202 de asociación de modelos está configurado para actualizar asociaciones entre los sistemas monitorizados y los modelos de estimación asociados en respuesta a cambios en la estructura de sistema y otras circunstancias, así como a la adición de nuevos modelos o eliminación de los viejos.

Haciendo ahora referencia adicionalmente a la figura 4, las asociaciones entre *M* sistemas diferentes y *N* modelos de estimación, en cualquier caso dado, pueden presentarse con concisión mediante una tabla 400 de asignación. La tabla 400 de asignación puede implementarse como una matriz *M x N*, siendo *M* un número entero mayor que uno correspondiente al número de sistemas monitorizados, y siendo *N* un número entero igual al número de modelos de estimación asociados con los diferentes sistemas monitorizados. Una asociación entre el sistema *i*-ésimo y el modelo *j*-ésimo se representa mediante el elemento *i, j*-ésimo de la matriz al que se le asigna un valor de 1; en ausencia de una asociación, el elemento *i, j*-ésimo de la matriz es cero. La tabla 400 de asignación se modifica fácilmente cambiando unos y ceros a medida que el módulo 202 de asociación de modelos actualiza las asociaciones en respuesta circunstancias que cambian tales como cambios estructurales de sistema y/o la adición o eliminación de modelos de estimación.

Haciendo ahora referencia a la figura 5, una realización alternativa de un sistema 500 para actualizar una pluralidad de modelos de monitorización incluye además un módulo 508 de entrenamiento. El módulo 508 de entrenamiento entrena versiones específicas de sistema de cada modelo de estimación para cada sistema monitorizado. El entrenamiento se realiza usando datos de sensor generados por los sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que se entrena una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación. El módulo 508 de entrenamiento está ilustrativamente en comunicación con un módulo 502 de asociación de modelos, un módulo 504 de actualización y un módulo 506 de modificación de modelos.

El módulo 502 de asociación de modelos, módulo 504 de actualización y módulo 506 de modificación de modelos realizan cada uno las funciones descritas previamente. Por consiguiente, en aún otra realización, el módulo 508 de entrenamiento puede configurarse para funcionar de manera cooperativa con cada uno de los otros módulos para volver a entrenar cada versión específica de sistema de cada modelo de estimación que se ha modificado como resultado de las operaciones realizadas por los otros modules.

Otra realización de la invención es un método 600 de asociación de modelos implementado electrónicamente para actualizar modelos de estimación, tal como se ilustra esquemáticamente mediante las etapas a modo de ejemplo de

la figura 6. Cada uno de los modelos de estimación puede comprender uno de diversos modelos usados para la detección inferencial tal como ya se describió. El método 600, en la etapa 602, incluye de manera ilustrativa determinar una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación. Cada uno de los modelos de estimación se basa en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, y cada conjunto corresponde de manera unívoca a un modelo de estimación particular.

El método 600 incluye adicionalmente actualizar al menos una de las propiedades de estimación en la etapa 604. En la etapa 606, el método 600 incluye además propagar propiedades de estimación actualizadas a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza. El método 600 incluye, en la etapa 608, modificar cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene al menos una propiedad de estimación que se actualiza. El método concluye de manera ilustrativa en la etapa 610.

Según aún otra realización, el método 600 puede incluir actualizar al menos una asociación entre un sistema monitorizado y un modelo de estimación asociado. La etapa adicional puede realizarse opcionalmente en cualquier punto durante un procedimiento para actualizar una pluralidad de modelos de monitorización de sistemas según las etapas ya descritas.

Haciendo ahora referencia al diagrama de flujo de la figura 7, se ilustra un método 700 de asociación de modelos implementado electrónicamente según aún otra realización. El método 700, en la etapa 702, incluye determinar de manera ilustrativa una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación. Cada estimación asociada se entrena en la etapa 704. Cada modelo se entrena individualmente para cada sistema que modela usando vectores de sensor suministrados mediante sensores enlazados de manera comunicativa al sistema particular. Cada modelo entrenado de este modo, define una versión específica de sistema del modelo de estimación correspondiente al sistema para el que se entrena.

El método 700 incluye además actualizar al menos una de las propiedades de estimación en la etapa 706. El método 700 también incluye, en la etapa 708, propagar propiedades de estimación actualizadas a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza. El método 700 incluye, en la etapa 710, modificar cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene al menos una propiedad de estimación que se actualiza. En la etapa 712, el método 700 incluye volver a entrenar cada versión específica de sistema de cada modelo de estimación que se ha modificado. Como con el entrenamiento de un modelo, el nuevo entrenamiento del modelo se basa en datos de sensor generados por sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que vuelve a entrenarse una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación. El método concluye de manera ilustrativa en la etapa 712.

Como se ha observado en todo lo anterior, la invención puede realizarse en hardware, software o una combinación de hardware y software. La invención también puede realizarse de una manera centralizada en un sistema informático, o de una manera distribuida en la que diferentes elementos se extienden a lo largo de diversos sistemas informáticos interconectados. Cualquier tipo de sistema informático u otro aparato adaptado para llevar a cabo los métodos descritos en el presente documento es adecuado. Una combinación típica de hardware y software puede ser sistema informático de propósito general con un programa informático que, cuando se carga y ejecuta, controla el sistema informático de manera que lleva a cabo los métodos descritos en el presente documento.

La invención puede incorporarse en un producto de programa informático, que comprende todas las características que permiten la implementación de los métodos descritos en el presente documento, y que cuando se carga en un sistema informático puede llevar a cabo estos métodos. En el presente contexto, programa informático quiere decir cualquier expresión, en cualquier lenguaje, código o notación, de un conjunto de instrucciones previsto para hacer que un sistema que tiene una capacidad de procesamiento de información realice una función particular o bien directamente o bien después de uno cualquiera o ambos de los siguientes: a) conversión a otro lenguaje, código o notación; b) reproducción en una forma material diferente.

Por consiguiente, debe hacerse referencia a las siguientes reivindicaciones, en lugar de a la memoria descriptiva anterior, para indicar el alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (102) para actualizar una pluralidad de modelos de monitorización, comprendiendo el sistema:

un módulo (202) de asociación de modelos que para cada uno de una pluralidad de sistemas (104a, 104b, 104c) monitorizados determina una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación, en el que cada modelo de estimación se basa en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, incluyendo cada conjunto de propiedades de estimación al menos uno de una lista de sensores, umbrales de sensores, periodo de entrenamiento y algoritmo de modelo de estimación, y en el que cada conjunto corresponde de manera unívoca a un modelo de estimación particular;

un módulo (204) de actualización que actualiza al menos una de las propiedades de estimación y propaga la al menos una propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza; y

un módulo (206) de modificación de modelos que modifica cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza;

el módulo (202) de asociación de modelos está configurado para actualizar una asociación entre uno o más modelos de estimación y al menos uno de la pluralidad de sistemas monitorizados en respuesta a una estructura de al menos un cambio de sistema monitorizado.

2. Sistema (102) según la reivindicación 1, que comprende además un módulo (508) de entrenamiento configurado para entrenar una versión específica de sistema de cada modelo de estimación para cada sistema (104a, 104b, 104c) monitorizado basado en datos de sensor generados por sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que se entrena una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación.

3. Sistema (102) según la reivindicación 2, caracterizado porque el módulo (508) de entrenamiento está configurado además para volver a entrenar cada versión específica de sistema de cada modelo de estimación que se modifica.

4. Sistema (102) según la reivindicación 1, implementándose el sistema (102) en una ubicación remota con respecto a la pluralidad de sistemas (104a, 104b, 104c) monitorizados.

5. Método de asociación de modelos implementado electrónicamente para actualizar modelos de estimación usados para la monitorización de sistemas, comprendiendo el método:

para cada uno de una pluralidad de sistemas (104a, 104b, 104c) monitorizados, determinar una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación, en el que cada modelo de estimación se basa en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, incluyendo cada conjunto de propiedades de estimación al menos uno de una lista de sensores, umbrales de sensores, periodo de entrenamiento y algoritmo de modelo de estimación, y en el que cada conjunto corresponde de manera unívoca a un modelo de estimación particular;

actualizar al menos una de las propiedades de estimación;

propagar la al menos una propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza;

modificar cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza; y

actualizar una asociación entre uno o más modelos de estimación y al menos uno de la pluralidad de sistemas monitorizados en respuesta a una estructura de al menos un cambio de sistema monitorizado.

6. Método según la reivindicación 5, que comprende además entrenar una versión específica de sistema de cada modelo de estimación para cada sistema (104a, 104b, 104c) monitorizado, en el que el entrenamiento se basa en datos de sensor generados por sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que se entrena una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación.

7. Método según la reivindicación 6, que comprende además volver a entrenar cada versión específica de sistema de cada modelo de estimación que se modifica, en el que el entrenamiento se basa en datos de sensor generados por sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que

vuelve a entrenarse una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación.

8. Método según la reivindicación 7, en el que el módulo (508) de entrenamiento está configurado para entrenar una versión específica de sistema de un modelo de estimación basado en una estimación de mínimos cuadrados.

9. Método según la reivindicación 5, que comprende además generar una tabla de asignación que representa las asociaciones entre la pluralidad de sistemas (104a, 104b, 104c) monitorizados y la pluralidad de modelos de estimación.

10. Método según la reivindicación 9, en el que la tabla de asignación comprende una matriz M x N, siendo M un número entero mayor que uno que comprende un número de sistemas (104a, 104b, 104c) monitorizados, y siendo N un número entero igual a un número de modelos de estimación.

11. Medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones informáticas para:

para cada uno de una pluralidad de sistemas (104a, 104b, 104c) monitorizados, determinar una asociación entre un sistema monitorizado particular y al menos uno de una pluralidad de modelos de estimación, en el que cada modelo de estimación se basa en uno de una pluralidad de conjuntos diferenciados de propiedades de estimación, incluyendo cada conjunto de propiedades de estimación al menos uno de una lista de sensores, umbrales de sensores, periodo de entrenamiento y algoritmo de modelo de estimación, y en el que cada conjunto corresponde de manera unívoca a un modelo de estimación particular;

actualizar al menos una de las propiedades de estimación;

propagar la al menos una propiedad de estimación actualizada a cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza;

modificar cada modelo de estimación que corresponde a un conjunto diferenciado que contiene la al menos una propiedad de estimación que se actualiza; y

actualizar una asociación entre uno o más modelos de estimación y al menos uno de la pluralidad de sistemas monitorizados en respuesta a una estructura de al menos un cambio de sistema monitorizado.

12. Medio de almacenamiento legible por ordenador según la reivindicación 11, que comprende además entrenar una versión específica de sistema de cada modelo de estimación para cada sistema (104a, 104b, 104c) monitorizado, en el que el entrenamiento se basa en datos de sensor generados por sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que se entrena una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación.

13. Medio de almacenamiento legible por ordenador según la reivindicación 12, que comprende además volver a entrenar cada versión específica de sistema de cada modelo de estimación que se modifica, en el que el entrenamiento se basa en datos de sensor generados por sensores enlazados de manera comunicativa a un sistema particular para el que vuelve a entrenarse una versión específica de sistema particular de un modelo de estimación.

14. Medio de almacenamiento legible por ordenador según la reivindicación 13, en el que el módulo (508) de entrenamiento está configurado para entrenar una versión específica de sistema de un modelo de estimación basado en una estimación de mínimos cuadrados.

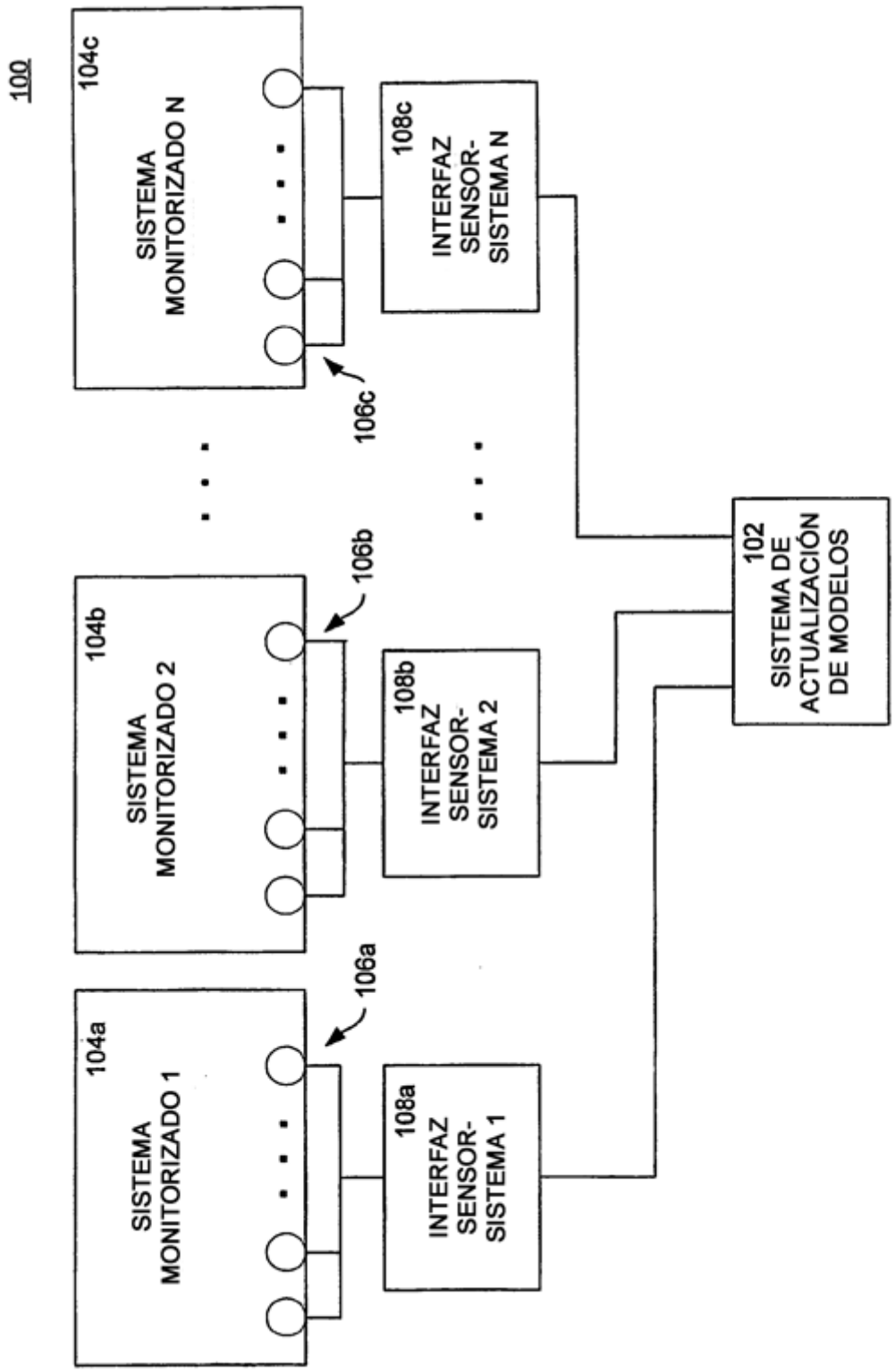

100
104c
SISTEMA MONITORIZADO N
108c
INTERFAZ SENSOR-SISTEMA N
106c
104b
SISTEMA MONITORIZADO 2
106b
108b
INTERFAZ SENSOR-SISTEMA 2
104a
SISTEMA MONITORIZADO 1
106a
108a
INTERFAZ SENSOR-SISTEMA 1
102
SISTEMA DE ACTUALIZACIÓN DE MODELOS

FIG. 1

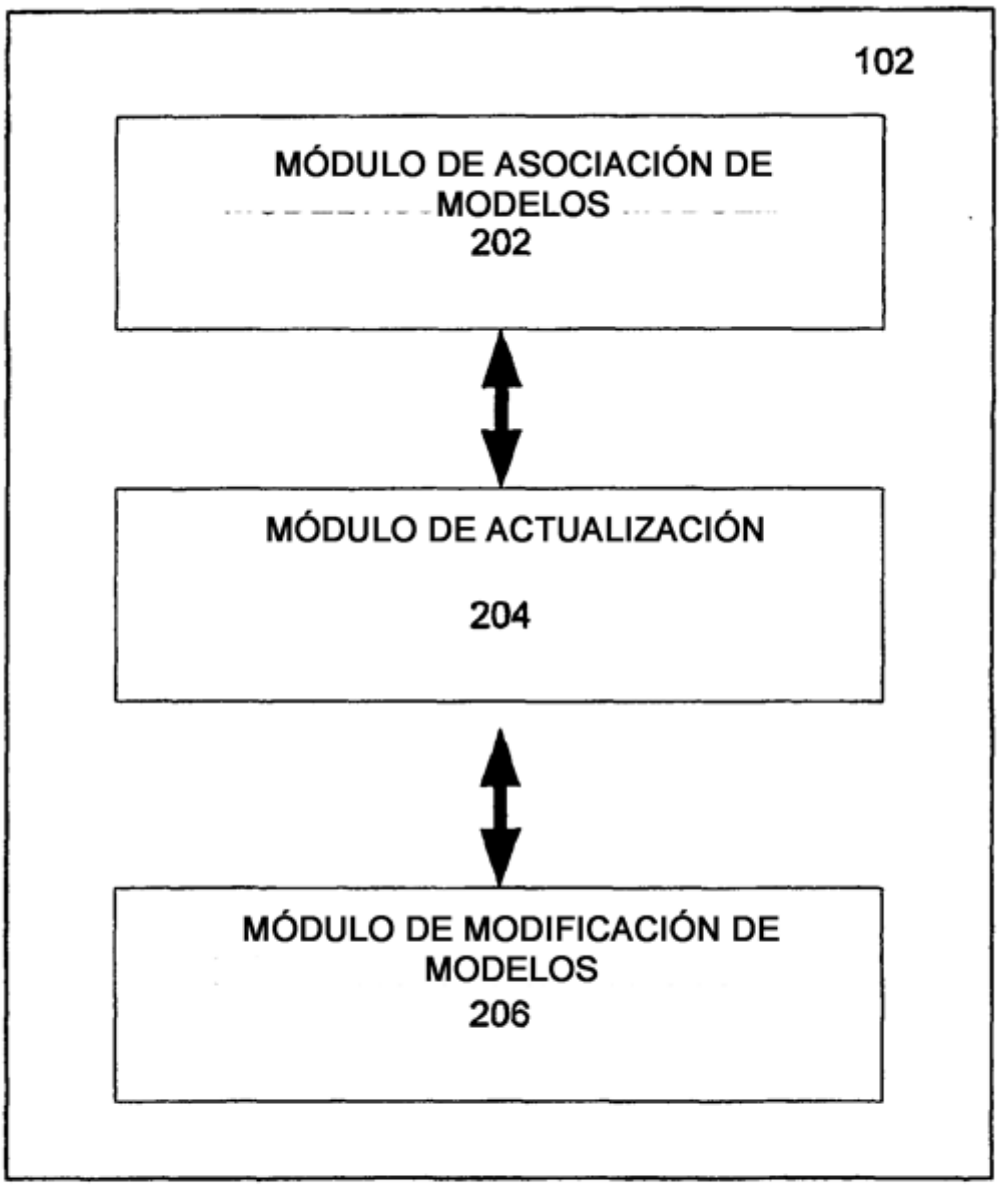

102
MÓDULO DE ASOCIACIÓN DE MODELOS
202
MÓDULO DE ACTUALIZACIÓN
204
MÓDULO DE MODIFICACIÓN DE MODELOS
206

FIG. 2

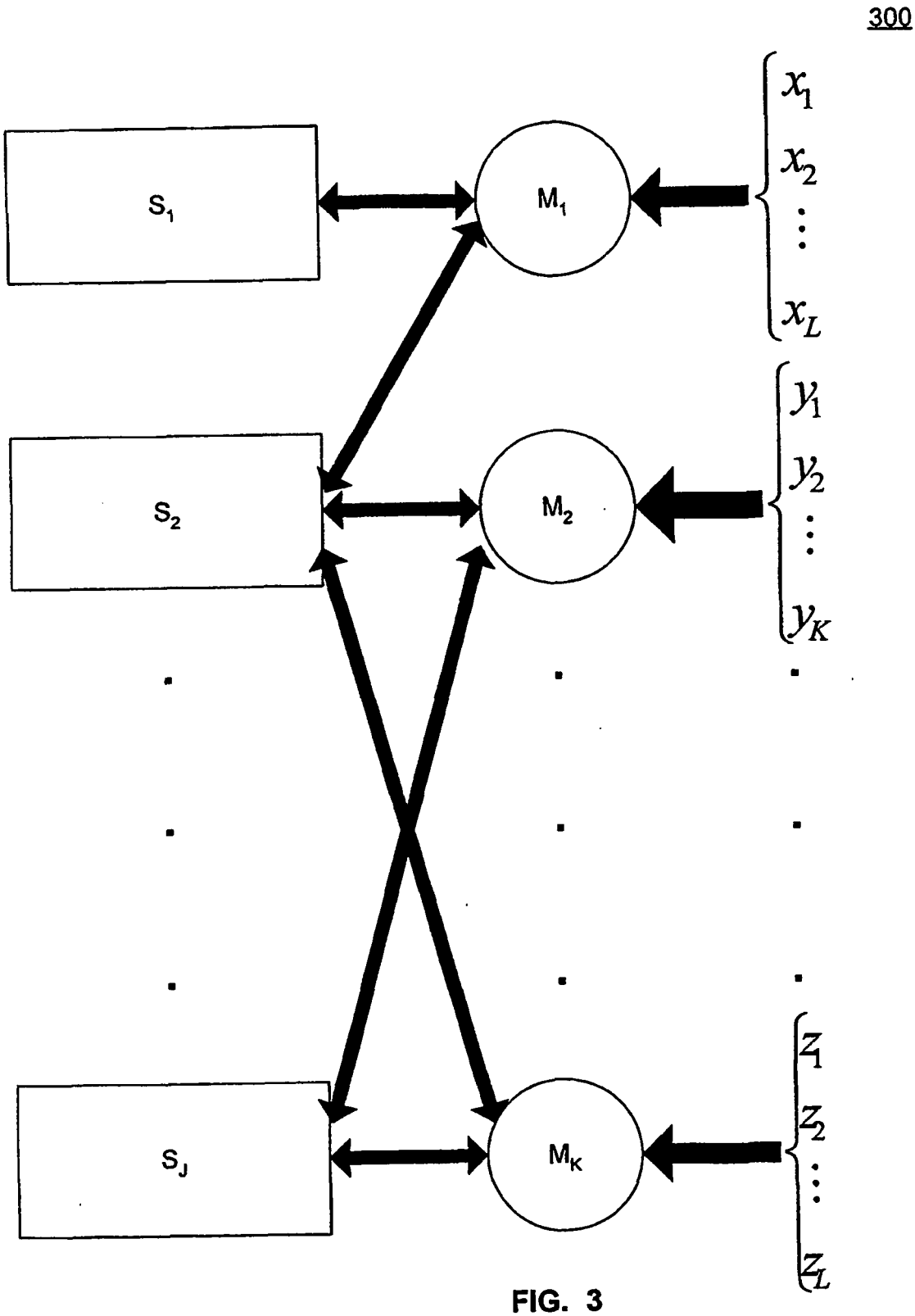


FIG. 3

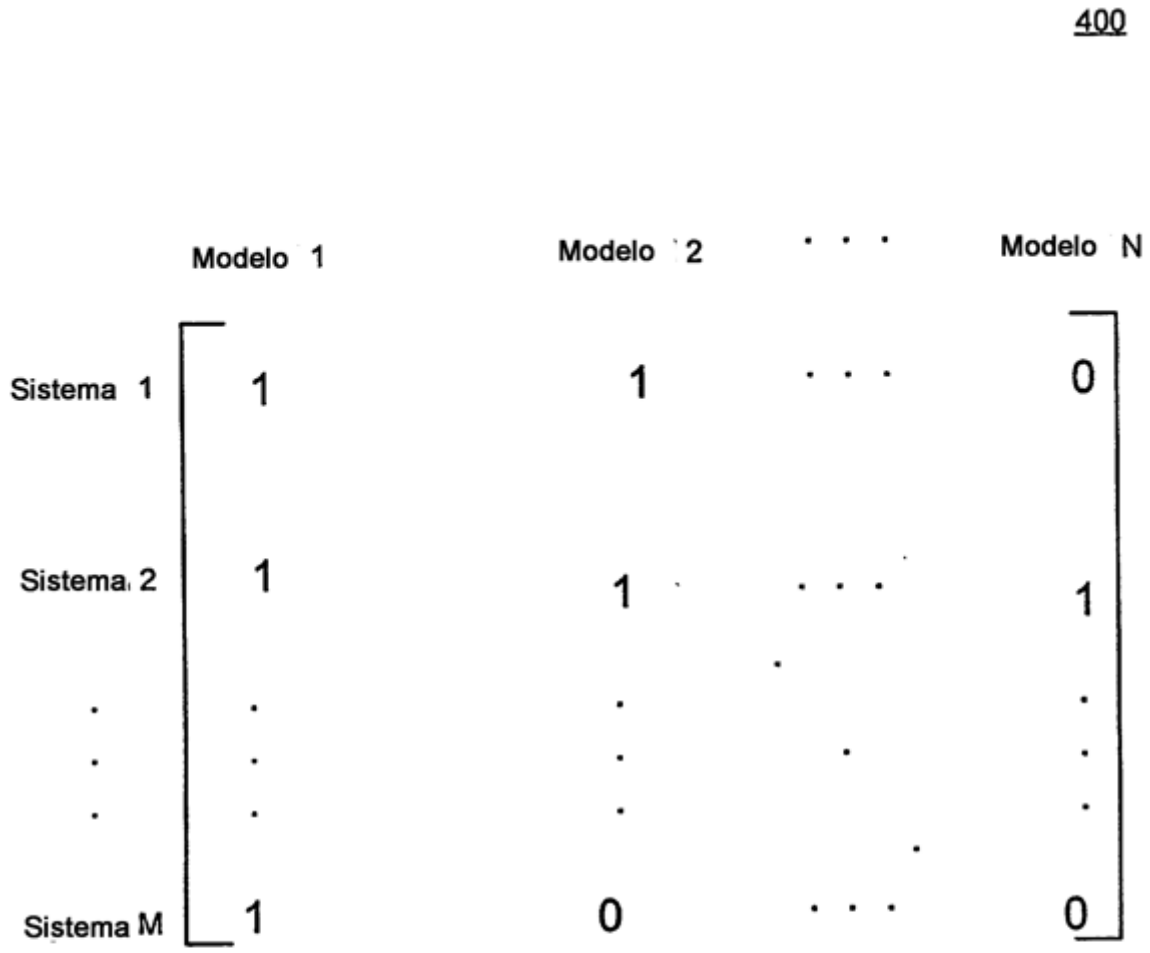

400
Modelo 1
Modelo 2
Modelo N
Sistema 1
Sistema 2
Sistema M
1
1
0
1
1
1
0
0

FIG. 4

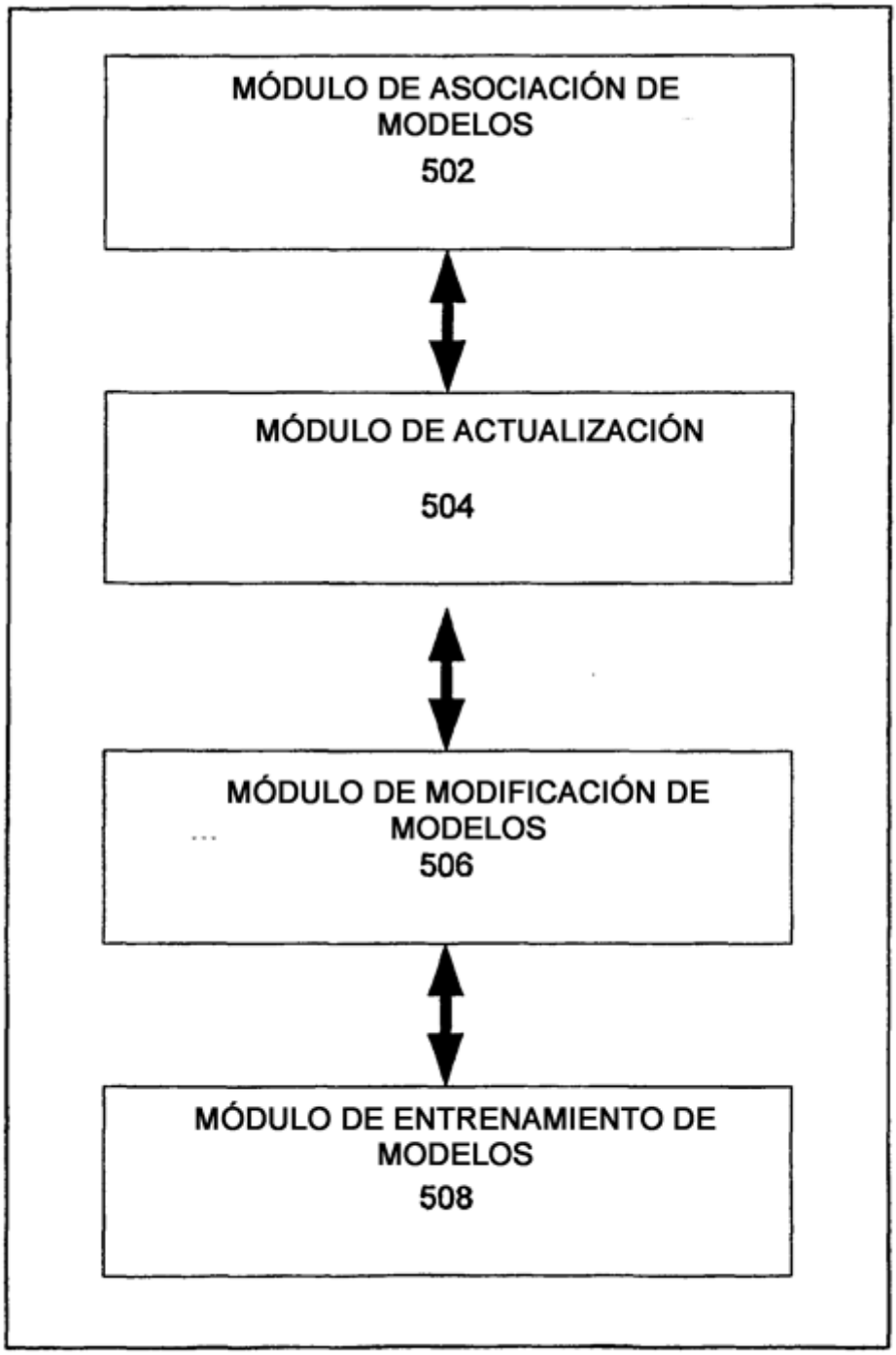

MÓDULO DE ASOCIACIÓN DE MODELOS
502
MÓDULO DE ACTUALIZACIÓN
504
MÓDULO DE MODIFICACIÓN DE MODELOS
506
MÓDULO DE ENTRENAMIENTO DE MODELOS
508

FIG. 5

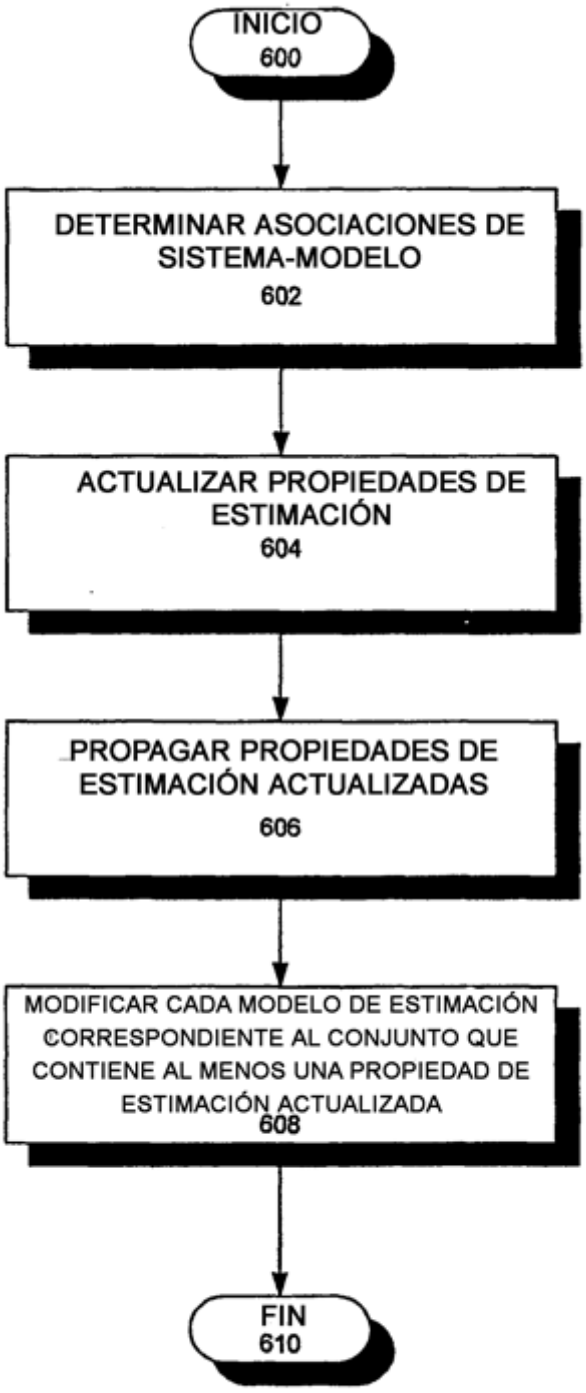

INICIO
600
DETERMINAR ASOCIACIONES DE SISTEMA-MODELO
602
ACTUALIZAR PROPIEDADES DE ESTIMACIÓN
604
PROPAGAR PROPIEDADES DE ESTIMACIÓN ACTUALIZADAS
606
MODIFICAR CADA MODELO DE ESTIMACIÓN CORRESPONDIENTE AL CONJUNTO QUE CONTIENE AL MENOS UNA PROPIEDAD DE ESTIMACIÓN ACTUALIZADA
608
FIN
610

FIG. 6

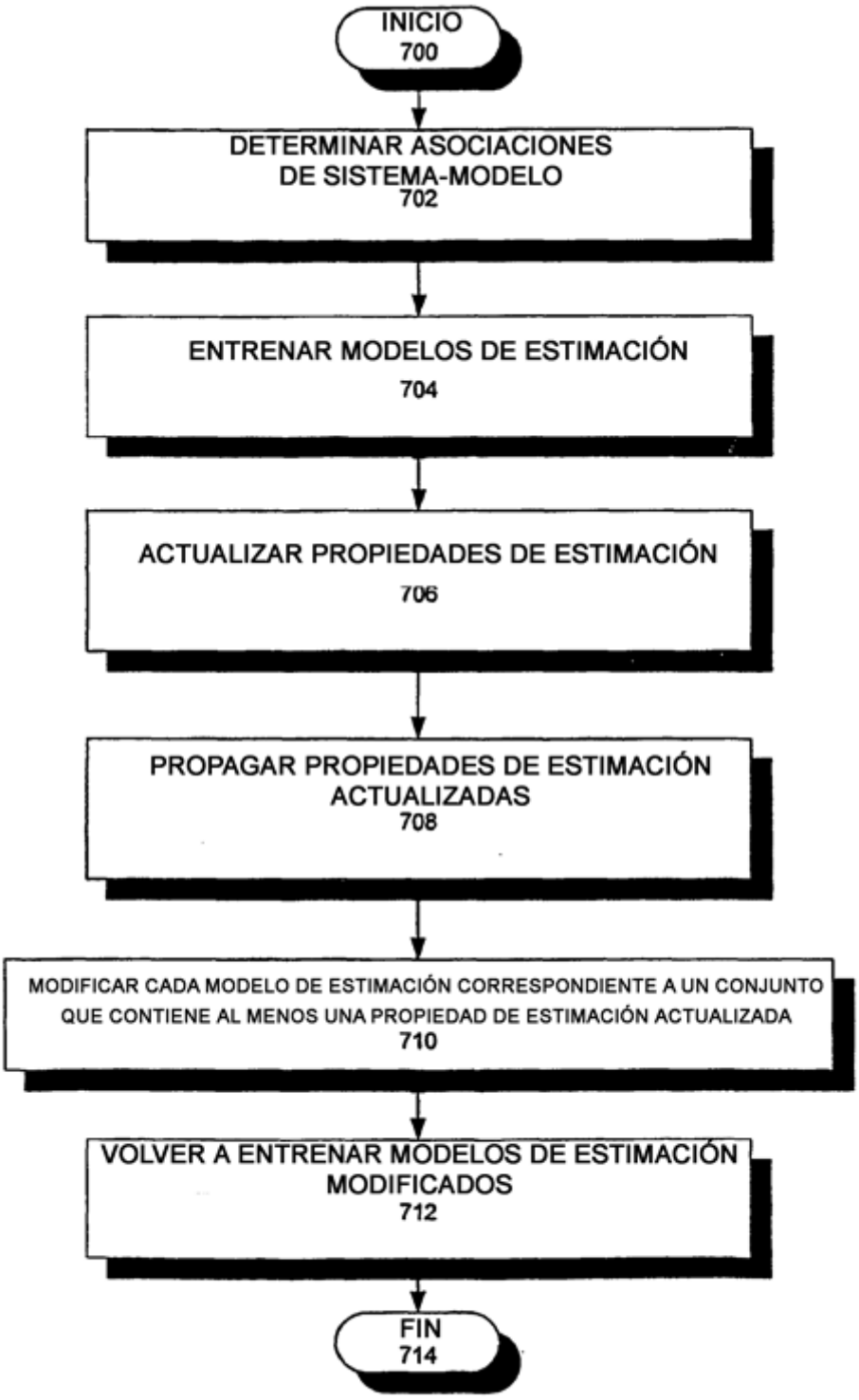

INICIO
700
DETERMINAR ASOCIACIONES DE SISTEMA-MODELO
702
ENTRENAR MODELOS DE ESTIMACIÓN
704
ACTUALIZAR PROPIEDADES DE ESTIMACIÓN
706
PROPAGAR PROPIEDADES DE ESTIMACIÓN ACTUALIZADAS
708
MODIFICAR CADA MODELO DE ESTIMACIÓN CORRESPONDIENTE A UN CONJUNTO QUE CONTIENE AL MENOS UNA PROPIEDAD DE ESTIMACIÓN ACTUALIZADA
710
VOLVER A ENTRENAR MODELOS DE ESTIMACIÓN MODIFICADOS
712
FIN
714

FIG. 7