

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 466**

51 Int. Cl.:

G06N 3/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.08.2016** **E 16183771 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020** **EP 3282399**

54 Título: **Procedimiento para la detección mejorada de anomalías de proceso de una instalación técnica y sistema de diagnóstico correspondiente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.03.2021

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**BIERWEILER, THOMAS y
LENZ, HENNING**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 809 466 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la detección mejorada de anomalías de proceso de una instalación técnica y sistema de diagnóstico correspondiente

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para la detección de anomalías de proceso de una instalación técnica, así como a un sistema de diagnóstico correspondiente, en el cual la detección de anomalías de proceso se realiza con ayuda de los así denominados como "mapas autoorganizados".

10 En instalaciones de tecnología de fabricación y de tecnología de procesos se generan, evalúan y archivan señales analógicas y digitales. Para la evaluación de datos históricos se conocen diversos procedimientos, como redes neuronales, máquinas de vectores de soporte (SVM por sus siglas en inglés) o mapas autoorganizados (self-organizing maps, SOM).

15 Los mapas autoorganizados son especialmente adecuados para clasificar estados en datos históricos. En el tiempo de ejecución, se pueden reconocer desviaciones o anomalías del estado normal de proceso y, en función de la base de datos, se pueden clasificar estados incorrectos. Cuando en una instalación se presentan estados correctos conocidos, los mismos se pueden utilizar para programar mapas autoorganizados. De esta manera, con mapas autoorganizados, se pueden identificar desviaciones durante el funcionamiento en curso. El uso de mapas autoorganizados (SOM) para el monitoreo de instalaciones se describe, por ejemplo, en la solicitud EP2472440B1. El trabajo de CRISTIANO W FREY: "Diagnóstico de procesos y monitoreo de sistemas de automatización basados en buses de campo utilizando mapas autoorganizados y transformaciones de cuencas hidrográficas", CONFERENCIA INTERNACIONAL IEEE SOBRE FUSIÓN E INTEGRACIÓN MULTISENSOR PARA SISTEMAS INTELIGENTES (MFI 2008), PISCATAWAY, NJ, EE. UU., 20 de agosto de 2008, páginas 620-625 ISBN: 978-1-4244-2143-5 revela un procedimiento implementado por computadora y un sistema de diagnóstico que aprende, reconoce y emite anomalías de proceso de una instalación técnica utilizando un mapa autoorganizado.

20 Tras la detección de una desviación, es útil para el análisis de la causa raíz (root cause analysis), determinar las desviaciones de los puntos de medición individuales del estado correcto y conformar un vector de síntomas a partir de ellas. El vector de síntomas puede servir como base para el análisis de la causa raíz. Por ejemplo, la solicitud EP2587329B1 describe un posible procedimiento para determinar la causa raíz a partir de un vector de síntomas.

25 Existen dos desventajas principales al utilizar estos procedimientos o sistemas conocidos: Para evitar estados críticos de la instalación, resulta importante que las desviaciones del comportamiento normal del proceso se reconozcan en una etapa temprana. Los mapas autoorganizados representan diferentes estados de la instalación en sus nodos, especialmente en procesos dinámicos. Por lo tanto, pueden surgir situaciones en las cuales estados con desviaciones de su estado normal sean similares a otros estados de la instalación. Estas situaciones, indicadas aquí de manera abreviada como desviaciones, no son reconocidas por los procedimientos o sistemas de diagnóstico conocidos o sólo se reconocen tardíamente.

30 Además, con los procedimientos y sistemas conocidos no es posible un análisis de causa raíz fiable, ya que en caso de errores no siempre es posible determinar correctamente un vector de síntomas. Además, tampoco se pueden detectar desviaciones del comportamiento temporal.

El objeto de la presente invención consiste entonces en especificar un procedimiento para la detección mejorada de anomalías de proceso en una instalación técnica y un sistema de diagnóstico correspondiente en el cual se eviten, en la medida de lo posible, las desventajas mencionadas anteriormente.

40 De acuerdo con la invención, dicho objeto se resuelve, en referencia al procedimiento, mediante las características de la reivindicación 1 y, en referencia al sistema de diagnóstico, mediante las características de la reivindicación 6. Las otras reivindicaciones relacionadas se refieren a configuraciones ventajosas de la presente invención.

45 La presente invención hace referencia fundamentalmente a un procedimiento para la mejor detección de anomalías de proceso de una instalación técnica, en el cual, en primer lugar, se entrena un mapa autoorganizado utilizando los datos de proceso histórico como estados correctos de la instalación; en donde los estados correcto se utilizan para determinar la secuencia temporal o la ruta de los nodos afectados, así como, las tolerancias del éxito de las neuronas; y en donde se determinan y almacenan los valores umbral para la distancia euclidiana de los estados correctos; y en el cual los datos de proceso en curso de la instalación se evalúan en forma de un vector de estado con la ayuda del mapa autoorganizado entrenado; en donde la distancia euclidiana del vector de estado en curso con respecto a la neurona afectada se verifica en función de un sobrepaso del valor umbral; en donde con la ayuda de la ruta determinada se determina una neurona que debe ser afectada, siempre que el valor umbral ya no se haya excedido durante la verificación con la neurona afectada; y en donde se determina un vector de síntoma a partir del vector de estado en curso y de la neurona afectada o la neurona que debería ser afectada. Cuando opcionalmente junto con las rutas también se almacena el número de aciertos de un nodo, se pueden determinar las desviaciones

de tiempo del estado correcto. Las principales ventajas consisten ante todo en una detección temprana y fiable de las desviaciones del estado normal, de la posibilidad adicional y la determinación correcta de un vector de síntomas para encontrar de una mejor manera la causa del error.

5 A continuación, la presente invención se explica en detalle mediante los ejemplos de ejecución representados en el dibujo.

Las figuras muestran:

Figura 1: un mapa autoorganizado para la explicación del procedimiento conforme a la invención.

Figura 2: una representación esquemática para la explicación del sistema de diagnóstico conforme a la invención.

10 La Figura 1 muestra a modo de ejemplo un mapa autoorganizado SOM con 4 por 6 nodos o neuronas (1,1) ... (4,6). Además, se indican ejemplos de algunos de los vectores de estado determinados en el mapa, que fueron aprendidos de vectores de entrada históricos para estados correctos durante una fase de aprendizaje; en donde los vectores de estado determinados (aquí indicados en forma transpuesta) se dan por ejemplo de la siguiente manera:

$$(1,1) = (0,1 ; 1,1 ; 1,9 ; 0,4)^T,$$

$$(2,5) = (0,5 ; 1,1 ; 1,9 ; 0,4)^T,$$

15 $(3,3) = (0,5 ; 1,1 ; 1,4 ; 0,4)^T.$

Quando se entrena con la ayuda de datos históricos, el mapa autoorganizado SOM se optimiza de tal modo que todos los estados de proceso conocidos, es decir, los vectores de entrada de estados correctos presenten la menor distancia euclidiana posible a los vectores de estado determinados en el mapa.

20 En la fase de aprendizaje se pueden proporcionar valores umbral para las distancias euclidianas de los estados correctos a las neuronas afectadas del mapa autoorganizado SOM.

Tras la optimización del mapa SOM, reevaluando los estados correctos, se pueden calcular opcionalmente valores umbral para los nodos individuales.

Después de la aplicación opcional de un valor de tolerancia a los valores umbral, esto da como resultado un mapeo particularmente estable y fiable del estado correcto.

25 Las desviaciones en el tiempo de ejecución se reconocen porque la distancia euclidiana entre el vector de entrada del momento y el vector de estado del nodo afectado es mayor que en el caso normal. Con frecuencia, la distancia determinada no sólo es mayor, sino que a menudo también cambia de manera desventajosa la neurona o el nodo afectados en el mapa.

30 Esto se explicará con más detalle a continuación utilizando ejemplos específicos en base a las relaciones representadas en la figura 1, es decir, en un mapa SOM del tamaño 4x6 programado.

Un vector de proceso en curso P_N durante un funcionamiento continuo presenta aquí, por ejemplo, el valor:

$$P_N = \begin{pmatrix} 0,51 \\ 1,05 \\ 1,5 \\ 0,45 \end{pmatrix}.$$

El nodo (3,3) sería el nodo con la menor distancia euclidiana:

$$\Delta_N = |P_N - (3,3)| = \left| \begin{pmatrix} 0,01 \\ -0,05 \\ -0,1 \\ 0,05 \end{pmatrix} \right| \approx 0,12.$$

35 Considerando un valor umbral de, por ejemplo, 0,15 determinado a partir de los estados correctos, aquí no se presenta una desviación y el vector de síntomas S_N resulta entonces:

$$\vec{s}_N = \vec{0} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Ahora se presenta una desviación. El vector de proceso presentaría en lugar de P_N , por ejemplo, el valor:

$$P_{F1} = \begin{pmatrix} 0,49 \\ 1,15 \\ 1,85 \\ 0,35 \end{pmatrix}.$$

5 La distancia desde los nodos (3,3) resulta para este caso: $\Delta_{F1;(3,3)} \approx 0,46$. Esto daría lugar a una desviación y se reconocería porque se encuentra por encima del valor umbral relevante 0,15.

Otro nodo (2,5) programado en el mapa, que representa los valores de proceso en otro estado está solo a una distancia $\Delta_{F1;(2,5)} \approx 0,09$ del vector de proceso anterior P_{F1} . Por lo tanto, la desviación no se reconoce debido al nodo adicional (2,5) y el sistema no envía ninguna alarma.

10 Este problema explicado anteriormente mediante un ejemplo se resuelve de acuerdo con la invención porque el mapa se entrena, como era el caso hasta ahora, en un primer paso a partir de los estados correctos. Sin embargo, en un segundo paso adicional, los estados correctos se utilizan para determinar y almacenar la secuencia temporal o las rutas de referencia de los nodos afectados. Las tolerancias de los aciertos de las neuronas también se determinan y almacenan y conducen a zonas de ruta de referencia. Además, al igual que antes, se determinan y almacenan valores umbral para la distancia euclidiana para los estados correctos.

15 En el presente caso, el sistema reconocería en el tiempo de ejecución que se debe determinar la distancia euclidiana al nodo correcto (3, 3). Esta distancia resulta de $\Delta_{F1;(3,3)} \approx 0,46$ y se encuentra claramente por encima del valor umbral de 0,15, por lo cual el sistema de diagnóstico detecta una desviación.

20 Para determinar un vector de síntomas correcto, en primer lugar, resulta necesario que se reconozca una desviación y, en segundo lugar, que las desviaciones en las variables de proceso se determinen en función del nodo del mapa que habría sido afectado en el estado correcto del sistema.

Otro vector de proceso de un estado de error presentaría, por ejemplo, el valor:

$$P_{F2} = \begin{pmatrix} 0,15 \\ 1,15 \\ 1,85 \\ 0,35 \end{pmatrix}.$$

25 La distancia euclidiana más pequeña al mapa resulta del nodo (1,1) a $\Delta_{F2;(1,1)} \approx 0,1$. Por lo tanto, no se reconoce una desviación, el vector de síntomas sería el vector cero $\vec{0}$. Considerando la ruta, el sistema reconoce ahora de acuerdo con la invención que el nodo (3, 3) debería ser afectado como anteriormente. La distancia euclidiana alcanza entonces $\Delta_{F2;(3,3)} \approx 0,57$ y por lo tanto considerando los valores umbral, el vector de síntomas resulta:

$$\vec{s}_{F2} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

30 Es decir, el punto de medición $p1 = -1$ proporciona un valor de medición demasiado bajo, el punto de medición $p3 = 1$ indica un valor de medición demasiado alto y los puntos de medición $p2 = 0$ o bien $p4 = 0$ no muestran una desviación.

Este problema se resuelve porque en la programación del mapa no sólo se determinan los vectores de estado de los nodos del mapa, sino que también se determina y almacena la secuencia de los nodos afectados, las rutas.

ES 2 809 466 T3

Este seguimiento de ruta permite determinar el nodo afectado en el estado correcto cuando se producen desviaciones y después determinar un vector de síntomas correcto basado en el nodo afectado en el estado correcto, con cuya ayuda se puede realizar con precisión la determinación de la causa raíz.

5 Una mejora adicional en el diagnóstico se refiere a la duración en el tiempo de los estados. Por lo general, en los sistemas digitales, el muestreo se realiza en pasos de tiempo discreto. Cuando junto con las rutas también se almacena el número de aciertos de un nodo, entonces también se pueden determinar las desviaciones de tiempo del estado correcto.

10 En la Figura 2 se muestra una representación esquemática para explicar el sistema de diagnóstico DS conforme a la invención, en el cual un sistema de control de proceso PFS, por ejemplo, DCS o SCADA, mide los valores de medición en tiempo de ejecución y especifica los valores objetivo. Estos valores de medición y objetivo MS se archivan y conforman datos históricos H.

Sin conexión OFF, los mapas autoorganizados SOM se entrenan 1 primero con la ayuda de los datos históricos H, las rutas 2, los valores umbral 3 y opcionalmente el número de aciertos se determinan y almacenan en la secuencia temporal 4.

15 Después, con conexión ON se evalúan 5 los valores de proceso en curso a partir del tiempo de ejecución del sistema de control de proceso PFS a través de los mapas autoorganizados SOM. Los datos de los valores de proceso en curso se verifican primero en función de un sobrepaso de los valores umbral 6, y un nodo K afectado se determina de acuerdo con el seguimiento de ruta, en este caso, por lo tanto, la neurona afectada, siempre que se presente un sobrepaso de valores umbral.

20 En el caso de que no se excedan valores umbral, se examinan desviaciones en las rutas del momento 7 y también se determina un nodo afectado K de acuerdo con el seguimiento de la ruta, aquí, la neurona que debería ser afectada, siempre que haya una desviación.

25 Desde el nodo afectado K de acuerdo con el seguimiento de ruta, con la ayuda de una unidad para la determinación de síntomas SE, se suministran datos, por ejemplo, en forma de un vector de síntomas para un sistema para el análisis de la causa raíz UF, que en sí no es objeto de la presente invención y permite un análisis de error más preciso. Además, la determinación de síntomas SE suministra una desviación A.

30 Mientras no se determinan desviaciones de las rutas 7, antes de la determinación final de un estado correcto G, opcionalmente, también se puede verificar el número de aciertos temporalmente sucesivos 8 y allí, también se puede determinar el estado correcto G o una desviación A, que después sirven como señal de salida S del sistema de diagnóstico DS y/o se suministran a una visualización V.

35 Mediante la determinación y el seguimiento de las rutas o la secuencia de los aciertos de los nodos resultan de manera ventajosa una detección temprana y fiable de desviaciones del estado normal, una posibilidad adicional de identificar desviaciones en el comportamiento temporal y una determinación correcta de un vector de síntomas en base a las desviaciones de los valores de proceso individuales del estado correcto, que es necesario como variable de entrada del sistema para el análisis de la causa raíz UF.

De esta manera resulta posible detectar temprana y fiablemente anomalías en las instalaciones, así como, acotar o incluso evitar estados incorrectos o desconexiones no planificadas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento implementado por computadora para mejorar la detección de una anomalía de proceso en una instalación técnica, que comprende lo siguiente:

5 - entrenamiento (1) de un mapa autoorganizado (SOM por sus siglas en inglés) en un primer paso preparatorio utilizando los datos de proceso histórico (H) como estados correctos de la instalación en una fase de aprendizaje;

10 - determinación (2) y almacenamiento (4) de zonas de ruta de referencia en un segundo paso de preparación; en donde las zonas de ruta de referencia se determinan con la ayuda de la secuencia temporal de las neuronas afectadas del mapa autoorganizado (SOM) y de las tolerancias del éxito en la fase de aprendizaje;

- almacenamiento (4) de valores umbral para las distancias euclidianas de los estados correctos a las neuronas relevantes del mapa autoorganizado (SOM) en la fase de aprendizaje;

- evaluación (5) de los datos de proceso en curso de la instalación en forma de un vector de estado con la ayuda del mapa autoorganizado (SOM) entrenado en la fase de aprendizaje;

15 - verificación (6) de la distancia euclidiana del vector de estado en curso con respecto a la neurona afectada en referencia a si se excede el valor umbral determinado en la fase de aprendizaje;

20 - verificación (7) de la ruta en curso en comparación con las zonas de ruta de referencia determinadas en la fase de aprendizaje y definición de una neurona que debe ser afectada con la ayuda de la zona de ruta de referencia relevante, siempre que el valor umbral ya no se haya excedido durante la verificación con la neurona afectada;

25 - determinación (SE) de un vector de síntoma a partir del vector de estado en curso y de la neurona afectada (6) o la neurona que debe ser afectada (7); en donde la determinación se realiza considerando el valor umbral de la neurona en cuestión (K); y en donde un vector de síntoma diferente al vector cero indica la anomalía de proceso (A) y el vector de síntoma especifica la anomalía de proceso con más detalle (SE, UF); y

- emisión del vector de síntoma;

caracterizado porque,

- en la fase de aprendizaje, además de la secuencia de las neuronas afectadas a lo largo de una ruta, también se registra y almacena la duración de los estados correctos (4); y

30 - en donde, siempre que en la evaluación de los estados de proceso en curso no se haya presentado un sobrepaso del valor umbral ni un desvío de la ruta, también se realiza adicionalmente una verificación (8) de la duración de los estados en curso con la ayuda de la duración de los estados correctos y con ello se determina una anomalía de proceso (A).

2. Procedimiento según la reivindicación 1,

35 - en el cual los procesos de la instalación técnica se muestrean en segmentos de tiempo discretos y regulares;

- en el cual, en lugar de la respectiva duración de los estados correctos, se registra y almacena el número de éxitos de una respectiva neurona (4); y

40 - en el cual, en lugar de verificar la duración del estado en curso, se realiza una verificación con ayuda del respectivo número de éxitos (8) de los estados en curso.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

en el cual, después del entrenamiento, se realiza una optimización del mapa autoorganizado (SOM) y los valores umbral (3) para las neuronas individuales se calculan y almacenan automáticamente al reevaluar los estados correctos.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,
en el cual a los valores umbral se les aplica un valor de tolerancia.

5. Producto de programa informático que comprende un código de programa legible por ordenador para ejecutar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4 cuando el mismo se ejecuta en un ordenador.

5 6. Sistema de diagnóstico que comprende:

- medios para el entrenamiento (1) de un mapa autoorganizado (SOM) utilizando los datos de proceso histórico (H) como estados correctos de la instalación en una fase de aprendizaje;

10 - medios para la determinación (2) y el almacenamiento (4) de zonas de ruta de referencia en la fase de aprendizaje; en donde las zonas de ruta de referencia se determinan con la ayuda de la secuencia temporal de las neuronas afectadas del mapa autoorganizado (SOM) y de las tolerancias del éxito;

- medios para el almacenamiento de valores umbral (4) para las distancias euclidianas de los estados correctos a las neuronas afectadas del mapa autoorganizado (SOM) en la fase de aprendizaje;

- medios para la evaluación (5) de los datos de proceso en curso de la instalación en forma de un vector de estado con la ayuda del mapa autoorganizado (SOM) entrenado en la fase de aprendizaje;

15 - medio para la verificación (6) de la distancia euclidiana del vector de estado en curso con respecto a la neurona afectada en referencia a si se excede el valor umbral determinado en la fase de aprendizaje;

20 - medios para la verificación (7) de la ruta en curso en comparación con las zonas de ruta de referencia determinadas en la fase de aprendizaje y definición de una neurona que debe ser afectada con la ayuda de la zona de ruta de referencia relevante, siempre que el valor umbral ya no se haya excedido durante la verificación con la neurona afectada;

25 - medios para la determinación (SE) de un vector de síntoma a partir del vector de estado en curso y de la neurona afectada o la neurona que debe ser afectada ; en donde la determinación se realiza considerando el valor umbral de la neurona en cuestión (K); y en donde un vector de síntoma diferente al vector cero indica la anomalía de proceso (A) y el vector de síntoma especifica la anomalía de proceso con más detalle (SE, UF); y

- medios para la emisión del vector de síntoma;

- caracterizado porque en la fase de aprendizaje, además de la secuencia de las neuronas afectadas a lo largo de una ruta, también se registra y almacena (4) adicionalmente la respectiva duración de los estados correctos; y

30 - en donde, siempre que en la evaluación de los estados de proceso en curso no se haya presentado un sobrepaso del valor umbral ni un desvío de la ruta, también se realiza adicionalmente una verificación (8) de la duración de los estados en curso con la ayuda de la duración de los estados correctos y con ello se determina una anomalía de proceso (A).

35

FIG 1



