

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 138**

51 Int. Cl.:

**G01M 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.03.2013 PCT/RU2013/000210**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14148934**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.03.2013 E 13773428 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2956752**

54 Título: **Método para monitorizar una estructura y dispositivo de monitorización para la estructura**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**30.04.2019**

73 Titular/es:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:  
**KOZIONOV, ALEXEY PIETROVICH;  
MOKHOV, ILYA IGOREVICH;  
PYAYT, ALEXANDER LEONIDOVICH y  
SHEVCHENKO, DENIS VLADIMIROVICH**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 711 138 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**

Método para monitorizar una estructura y dispositivo de monitorización para la estructura

5 La invención se refiere a un método para monitorizar una estructura que aísla un primer medio de un segundo medio. El primer medio ejerce presión más alta sobre la estructura que el segundo medio. Por medio de al menos un sensor, se adquiere al menos una variable física relacionada con esta estructura. Esta variable se comunica a un dispositivo informático en la forma de una señal, en donde el dispositivo informático detecta una desviación de un estado real de la estructura desde un estado objetivo de la estructura basada en la señal del sensor. Si un valor de la desviación es mayor que un valor de umbral preestablecido, se determina por medio del dispositivo informático si está presente un estado crítico de la estructura, lo que da razones para esperar la ocurrencia de daños. Además, la invención se refiere a un dispositivo de monitorización para una estructura, mediante el cual se aísla un primer medio de un segundo medio. Por ejemplo, la estructura es una presa o un dique.

15 Actualmente los métodos usuales para monitorizar tales estructuras pueden dividirse en tres categorías. La primera categoría incluye inspección visual, en la cual la estructura a examinar es revisada y verificada por daños por personal calificado. Sin embargo, en caso de revisión visual de la estructura, el riesgo de identificar un daño inminente demasiado tarde es alto, dado que la inspección visual no es una monitorización continua sino un evento raro comparado con la monitorización sensorial permanente. Además, está el riesgo de que en la revisión visual de la estructura, no se reconozcan o incluso escaparse daños ya existentes o casi inminentes.

20 Dentro del alcance de la segunda categoría la monitorización se efectúa por medio de un modelo, que reproduce las condiciones físicas de la estructura a monitorizar. Un ejemplo correspondiente se describe en el artículo "Pyayt, A.L. et al; Artificial Intelligence and Finite Element Modelling for Monitoring Flood Defence Structures". Por un lado, es común usar relaciones físicas simples para la construcción de un modelo físico para evaluar el estado de la estructura. Por otro lado, la estructura puede ser emulada por medio de costosos modelos multidimensionales. Estos modelos multidimensionales se basan sobre todo en el llamado método de elementos finitos (FEM), por medio del cual se pueden determinar deformaciones, fuerzas y esfuerzos mecánicos sobre o en la estructura.

25 Un modelo físico se basa en información sobre la construcción, las condiciones ambientales físicas, a las que está sujeta la estructura o que se aplican a la estructura, así como datos geométricos. Además, se debe obtener información sobre las características físicas del material relacionado con la estructura, en particular el suelo, que se asocia con gastos adicionales. Para el modelado mismo, se requieren horas o incluso días. Se puede estimar un horizonte de tiempo similar para el cálculo del estado de la estructura por medio del modelo, por tanto se debe tener en cuenta el retraso considerable del diagnóstico relacionado con la estructura en la forma de resultados computacionales. Un ejemplo a esto se especifica en el artículo "Krzyszhanovskaya, V.V. et al; Flood early warning system: design, implementation and computational modules". En esta publicación, los datos generados de manera costosa de una emulación virtual de una presa se suministran a una simulación de inundación. Debido al esfuerzo operacional extremadamente grande de esta presa virtual asociada con el mismo, se requiere la operación mediante expertos.

35 Paralelo a esta compleja simulación, se estima aproximadamente si está presente un riesgo para la presa por un sistema de inteligencia artificial, y por simulación de erosión, se calcula aproximadamente cuánto dura una posible inundación causada por la erosión y qué cantidades de agua escapan por la erosión.

40 La tercera categoría involucra la lectura de datos de una red de sensores unidos a la estructura para la monitorización. Si se usa una red de malla suficientemente estrecha de sensores para la monitorización, de este modo, se pueden determinar diferentes variables físicas con alta resolución. Por un lado, es común usar cables de fibra de vidrio para medir temperaturas y por otro lado sensores de presión para medir la presión de poros en la estructura. El empleo de una red de cables de fibra de vidrio permite por ejemplo detectar un evento de daño, en el que el agua fluye a través de la estructura, de este modo por ejemplo se rompe una presa. De este modo, en la ubicación del fluido a través del medio, un valor anormal para la temperatura está determinado por un cable de fibra de vidrio directamente fluido por el medio o al menos humedecido por filtración del medio.

45 El empleo de una red pronunciada de sensores es lo más costoso, cuanto más se colocan sensores de malla estrecha, en donde además existe el riesgo de mediciones falsas o de falsas interpretaciones de las mediciones. El evento de daño de la rotura de presa puede ser detectado por las mediciones de temperatura por medio de los cables de fibra de vidrio. Sin embargo, la condición para la identificación de daños es una diferencia de temperatura medible entre la estructura y la temperatura del flujo a través del medio. Estas diferencias de temperatura son distintas, especialmente en las temporadas particularmente cálidas o particularmente frías y de este modo especialmente bien medibles también en verano y en invierno. En temporadas con temperaturas moderadas tales como en primavera u otoño, las temperaturas de la estructura y del medio de paso a menudo tienen diferencias de temperatura demasiado bajas que un paso de medio puede ser detectado por medio de la medición de temperatura mediante cables de fibra de vidrio.

55 Mediante el empleo de una red de sensores de presión, las irregularidades de la presión de poros de la estructura se pueden determinar independientemente de la temporada, pero esta red de sensor generalmente tiene una resolución espacial más baja. Esto conlleva el riesgo de que no se reconozcan daños ocurridos o ya existentes.

5 En la patente publicada de la técnica anterior el documento WO 2011/070343 A2 divulga un método y un dispositivo para monitorizar una estructura (un conducto) que aísla un primer medio de un segundo medio, en donde el primer medio ejerce una presión más alta sobre la estructura que el segundo medio ( un conducto que lleva fluido bajo presión), en el que al menos un sensor adquiere al menos una variable física relacionada con esta estructura y en el que al menos un sensor comunica una señal a un dispositivo informático, en donde el dispositivo informático detecta una desviación de un estado real de la estructura desde un estado objetivo de la estructura basado en la señal de al menos un sensor, en donde, si un valor de la desviación es mayor que un valor de umbral preestablecido, se determina por medio del dispositivo informático si es un estado crítico de la estructura existe (la detección y ubicación de fugas de fluido), lo que da razones para esperar la ocurrencia de daños, donde los datos se comunican desde un segundo componente (una etapa) del dispositivo informático a un primer componente del dispositivo informático (otra etapa), que se usa para evaluar el estado de la estructura.

10 Por lo tanto, es el objetivo de la presente invención proporcionar un método particularmente efectivo y al mismo tiempo particularmente confiable del tipo mencionado inicialmente.

15 Este objeto se resuelve mediante un método que tiene las características de la reivindicación 1 y mediante un dispositivo de monitorización que tiene las características de la reivindicación 8. Las configuraciones ventajosas con desarrollos convenientes de la invención se especifican en las reivindicaciones dependientes. De aquí en adelante, antes de llegar a una discusión detallada de las realizaciones de la invención, primero se discuten algunos aspectos generales de la invención como una introducción a la invención que se describe con más detalles a continuación.

20 En el método de acuerdo con un aspecto de la invención, por medio de un primer componente del dispositivo informático, los datos usados para evaluar el estado de la estructura se comunican a un segundo componente del dispositivo informático.

25 En sistemas relevantes de seguridad, los sistemas redundantes son considerablemente ventajosos para la seguridad de fallas de todo el sistema. Mediante la transferencia de datos al primer componente se asegura que todos los resultados computacionales importantes del segundo componente estén además disponibles incluso si el segundo componente falla. Además, mediante el uso de dos componentes diferentes, se puede efectuar una validación de sistema basado en los datos comunicados. El primer componente puede además ser entrenado con datos. Además, las discrepancias basadas en diferentes métodos de cálculo de los dos componentes se pueden corregir.

30 Mediante una combinación de datos que describen la estructura, medida por medio de al menos un sensor y calculada por el dispositivo informático, uno se lleva bien con un número muy bajo de sensores para monitorizar la estructura. Por lo tanto se puede omitir una red costosa de sensores conocidos de la técnica anterior. De esa manera, surgen ventajas de coste en la aplicación, mantenimiento y arranque de sensor. Además, la selección adecuada del valor de umbral preestablecido permite en particular diferenciar simplemente el estado crítico de la estructura de uno no crítico. Mediante la etapa de cálculo si está presente un estado crítico, se puede omitir de este modo la inspección visual y mantenimiento de la estructura, y se puede responder específicamente a este estado crítico. Por lo tanto el dispositivo informático se activa específicamente para realizar un cálculo con el fin de determinar si el estado crítico está presente, si la señal de al menos un sensor da lugar a tal cálculo.

35 Además, los sensores empleados no solo pueden emplearse para la validación de los datos del dispositivo informático, sino también para mejorar la calidad de datos. Mediante la comparación de los datos de medición reales de al menos un sensor con los datos virtuales generados por el dispositivo informático, se puede asegurar que los datos virtuales se correspondan de manera suficientemente precisa a las condiciones reales.

40 En una configuración ventajosa de acuerdo con otro aspecto de la invención, el primer componente del dispositivo informático genera un primer conjunto de datos que indica la desviación más rápido que el segundo componente genera un segundo conjunto de datos que evalúa el estado de la estructura y de este modo indicando un riesgo para la estructura.

45 El primer conjunto de datos generado por la salida del componente más rápido permite basado en el valor de umbral preestablecido detectar rápido una desviación de este valor de umbral. La indicación de un posible riesgo para la estructura se asocia con la misma. El segundo componente ahora permite evaluar el riesgo real para la estructura, ubicar posibles daños e interpretar y especificar el daño. El segundo componente es más lento que el primero, pero en cambio es particularmente preciso y confiable.

50 Se ha probado que es además ventajoso de acuerdo con otro aspecto de la invención si en caso de que disminuya el valor de umbral preestablecido, el dispositivo informático clasifica el estado real como un estado normal de la estructura. Para esto, el segundo componente determina un conjunto de datos adicional suministrado al primer componente para ampliar su almacén de conjuntos de datos, que describen estados normales de la estructura. El almacén de conjuntos de datos del primer componente por lo tanto aumenta continuamente.

55 De este modo, es suficiente especificar la magnitud del valor de umbral independientemente de si esta magnitud del valor de umbral se excede o disminuye en el estado normal. La evaluación exacta del estado es efectuada por el segundo componente. Incluso tras disminuir considerablemente la magnitud del valor de umbral, se determina un

estado normal por el segundo componente, mediante el conjunto de datos asociado del cual se extienden de nuevo los conjuntos de datos del primer componente.

5 Es además ventajoso de acuerdo con otro aspecto de la invención si en caso de exceder el valor de umbral preestablecido por una primera cantidad, el estado real se clasifica primero como un estado anormal por el primer componente.

Posteriormente, este estado real se evalúa como un estado normal por el segundo componente. Entonces, se suministra al primer componente un conjunto de datos que describe este estado real. De este modo, se extiende de nuevo un almacén de conjuntos de datos del primer componente que describe los estados normales.

10 Aquí, la evaluación realizada por el segundo componente es crucial para la clasificación del estado real presente en un estado crítico o un estado normal de acuerdo con otro aspecto de la invención. Dado que los conjuntos de datos del segundo componente permiten clasificación particularmente exacta del estado, a los conjuntos de datos del segundo componente se les atribuye una ponderación más alta que los conjuntos de datos del primer componente dentro del dispositivo informático. De este modo, si un estado real presente se clasifica como un estado anormal por el primer componente, pero se clasifica como un estado normal por el segundo componente mediante evaluación exacta del estado, de este modo, por consiguiente, el primer componente se anula y el primer componente se sensibiliza a este estado normal recientemente declarado.

15 El almacén de datos del primer componente está de acuerdo con otro aspecto de la invención por lo tanto se extiende por un conjunto de datos adicional, que indica un estado tolerable. Los estados futuros, cuyos valores reales asociados están por debajo del valor de umbral, pueden entonces clasificarse o declararse particularmente rápido y de manera confiable como un estado normal por el primer componente del dispositivo informático.

20 Se ha probado que es además ventajoso de acuerdo con otro aspecto de la invención si en caso de exceder el valor de umbral preestablecido por una segunda cantidad, el estado real se clasifica como un estado anormal por el primer componente, en donde este estado real se evalúa como uno de los estados críticos por el segundo componente.

25 Los conjuntos de datos del primer componente más rápido del dispositivo informático se extienden continuamente por los conjuntos de datos que describen el estado, que son proporcionados por el segundo componente, en relación con una evaluación de los estados reales. Esto da como resultado en el hecho de que el dispositivo informático puede realizar una evaluación particularmente rápida del estado. La evaluación por el segundo componente solo se efectúa si un estado real está presente, que aún no se conoce por el primer componente. Sin embargo, si aquí está presente un estado real, que se clasifica como un estado crítico, de este modo, la evaluación por el segundo componente siempre se efectúa.

30 Además, es particularmente ventajoso de acuerdo con otro aspecto de la invención si se genera un mensaje de advertencia si el segundo componente evalúa el estado real como un estado crítico. Al generar el mensaje de advertencia, se asegura particularmente en gran medida que no se pierda un estado crítico que pone en peligro la estructura.

35 Se ha probado que es además ventajoso de acuerdo con otro aspecto de la invención si el estado crítico identificado por el segundo componente está asociado con al menos un tipo de daño de la estructura. Un conjunto de datos que describe el tipo de daño se suministra entonces al primer componente.

40 Mediante la comunicación de datos para la evaluación y adicionalmente de datos para la clasificación del tipo de daño al primer componente, el primer componente está habilitado para hacer evaluaciones de manera autónoma de los estados sin tener que recurrir a los métodos de evaluación más costosos del segundo componente. Cuantos más datos se comuniquen para evaluar y clasificar los tipos de daños al primer componente, mejor será la calidad de la evaluación de riesgo que ya tiene el primer componente. Dado que la evaluación de daño por el primer componente se efectúa particularmente rápido, el dispositivo informático se vuelve más rápido en su evaluación de los estados al aumentar el almacén de conjuntos de datos.

45 Es además ventajoso de acuerdo con otro aspecto de la invención si el primer componente determina las probabilidades para que ocurra al menos un tipo de daño y genere un mensaje de advertencia correspondiente. El resultado de probabilidades para la ocurrencia de daños permite adaptar el esfuerzo para las contramedidas correspondientes a las probabilidades. De este modo, por ejemplo, con una baja probabilidad de un daño, se realiza una simple inspección visual de la estructura. Con alta probabilidad de un daño, por ejemplo, las medidas de reparación de la estructura o incluso la evacuación se inician a la vez.

50 Es particularmente ventajoso si de acuerdo con otro aspecto de la invención se emplea un sistema de inteligencia artificial como el primer componente del dispositivo informático, y se emplea un sistema para determinar deformaciones y/o fuerzas y/o esfuerzos mecánicos de la estructura como el segundo componente

55 Los sistemas de inteligencia artificial pueden interpretar y representar relaciones lineales y no lineales. Estas relaciones se derivan de los conjuntos de datos comunicados por el segundo componente por el sistema de inteligencia artificial. Los conjuntos de datos del segundo componente determinados basados en relaciones físicas complejas

pueden reproducirse particularmente rápido por el sistema de inteligencia artificial, por el que se puede efectuar una respuesta particularmente rápida a un estado crítico.

5 Además, es ventajoso que si de acuerdo con otro aspecto de la invención se suministra al dispositivo informático conjuntos de datos adicionales relacionados con el estado de la estructura a través de una interfaz. Por la interfaz, es por ejemplo permitido al personal operativo para preestablecer manualmente estados o daños de la estructura por ejemplo dentro del alcance de introducción de una nomenclatura. De esa manera, la clasificación en categorías de daños y los conjuntos de datos asociados de los mismos también es posible. Si la estructura es una presa, por ejemplo un rompimiento, erosión o deformación (tubería, deslizamiento) pertenece a estos daños.

10 De este modo, por ejemplo al desprenderse del suelo, un sensor instalado previamente en la presa, puede estar expuesto y correspondientemente causar variaciones intensas de los datos. En este caso, se puede notificar al dispositivo informático a través de la interfaz que con tales valores variables, se expone un sensor, que por ejemplo Indica el evento de daño de desprenderse del suelo.

15 Un evento adicional, que puede ser contrarrestado por la presencia de la interfaz es un fallo de un sensor y asociado con eso la ocurrencia de señales de error. A menudo, los sensores generan un cierto valor extremo si son defectos. Este valor no podría lograrse bajo condiciones reales. También en este caso, es razonable comunicar los conjuntos de datos que describen tales escenarios al dispositivo informático a través de la interfaz.

20 El dispositivo de monitorización de acuerdo con otro aspecto de la invención sirve para monitorizar una estructura, mediante la cual se puede aislar un primer medio de un segundo medio. Por medio del primer medio, se puede ejercer una presión más alta sobre la estructura que por medio del segundo medio. El dispositivo de monitorización tiene al menos un sensor, por medio del cual se puede adquirir al menos una variable física relacionada con esta estructura. Por medio del sensor, se puede comunicar una señal a un dispositivo informático. Mediante el dispositivo informático, una desviación de un estado real de la estructura desde un estado objetivo de la estructura es detectable basado en la señal del sensor. Dependiendo de un valor de la desviación relacionada con un valor de umbral preestablecido, se puede determinar un estado crítico de la estructura por medio del dispositivo informático, lo que da razones para esperar la ocurrencia de daños. Un primer componente del dispositivo informático está acoplado a un segundo componente del dispositivo informático a través de un enlace de comunicación adaptado para transmitir datos. El primer componente está adaptado para realizar la evaluación del estado de la estructura basado en los datos.

30 Mediante el empleo del dispositivo de monitorización, los costes de mantenimiento que surgen como un resultado del examen visual de la estructura se pueden reducir a un mínimo. Específicamente, la inspección solo tiene que efectuarse en caso de presencia del estado crítico. Por medio del dispositivo de monitorización, de este modo, se permite una monitorización particularmente efectiva y al mismo tiempo particularmente confiable de la estructura.

Las ventajas y realizaciones preferidas descritas para el método de acuerdo con la invención también se aplican a la estructura de acuerdo con la invención y viceversa.

35 Las características y combinaciones de características mencionadas anteriormente en la descripción así como las características y combinaciones de características mencionadas a continuación en la descripción de las figuras y/o mostradas en la figura solo son usables no solamente en la combinación especificada respectivamente, sino también en otras combinaciones o solo sin apartarse del alcance de la invención. Ventajas, características y detalles adicionales de la invención son evidentes a partir de las reivindicaciones, la siguiente descripción de las realizaciones preferidas así como basadas en los dibujos. Los dibujos se muestran en:

40 La figura 1 una estructura configurada como una presa y equipada con sensores de acuerdo con la técnica anterior y que separa el aire medio del agua media.

La figura 2 las secuencias informáticas ejecutadas por un dispositivo informático, si las condiciones ambientales y datos de sensor relacionados con la presa están presentes como variables de entrada.

La figura 3 un modelo de validación que emplea un componente de validación así como los datos de sensor.

45 La figura 4 la generación de una evaluación de riesgo y de un conjunto de datos, en donde las condiciones ambientales así como los datos de sensor se usan como las variables de entrada.

La figura 5 el proceso de extender un conjunto de datos de inteligencia artificial al suministrar componentes de un conjunto de datos de un modelo de elementos finitos.

50 La figura 6 la mejora de la calidad de la declaración de la inteligencia artificial mediante la suplementación de un dispositivo informático con una interfaz.

La figura 1 muestra una estructura configurada como una presa 1 y que separa el aire 2 medio del agua 3 media. La presa 1 está equipada con sensores 4, por medio de los cuales se pueden determinar datos físicos tales como temperaturas y presiones de poros. El aire 2 y el agua 3 ejercen diferentes presiones sobre la presa 1 y se ubican en

diferentes lados de la misma. Los sensores 4 sirven para monitorizar la presa 1 para daños conocidos de la técnica anterior. Para esto, se proporciona una red de malla estrecha, costosa de sensores 4.

5 En contraste, la figura 2 ejemplifica secuencias informáticas ejecutadas por un dispositivo 6 informático, que monitoriza la presa 1 de otra manera. En ella, los valores de datos que especifican condiciones 5 ambientales y datos 10 de sensor en la forma de Señales están presentes como variables de entrada. Este sensor 10 de datos es proporcionado por sensores 4 instalados en la presa 1.

El dispositivo 6 informático se divide en un primer componente que contiene inteligencia 11 artificial y un segundo componente que contiene un modelo 12 de elementos finitos. La inteligencia 11 artificial tiene un primer conjunto de datos 7 y el modelo 12 de elementos finitos tiene un segundo conjunto de datos 8.

10 Las condiciones 5 ambientales, a las que también pertenecen los medios que actúan sobre la presa 1, entran en el segundo conjunto de datos 8 del modelo 12 de elementos finitos. Por efecto de las condiciones 5 ambientales en la presa 1, se generan los datos 10 de sensor correspondientes a las condiciones 5 ambientales. Los datos 10 de sensor son variables de entrada para la inteligencia 11 artificial y para el modelo 12 de elementos finitos.

15 Si se detecta un estado 16 anormal por la inteligencia 11 artificial tras comparar los datos 10 de sensor con el primer conjunto de datos 7, de este modo, se desencadena un cálculo. En ello, una Simulación basada en las presentes variables de entrada se realiza mediante el modelo 12 de elementos finitos.

20 Con el fin de determinar si el estado real presente es un estado 16 anormal, se verifica por la inteligencia 11 artificial si está presente un exceso sobre un valor de umbral. La inteligencia 11 artificial ya tiene un cierto almacén de conjuntos de datos 7, que están asociados con los estados 13 normales de la represa 1. Si hay una desviación de los conjuntos de datos 7 existentes en un conjunto de datos que especifica un estado real de la presa 1, que es mayor de acuerdo con la cantidad que el valor de umbral, de este modo, este estado real se clasifica primero como un estado 16 anormal. El conjunto de datos que describe el estado real se determina a partir de los datos 10 de sensor.

25 Si el estado real presente se identifica como un estado 16 anormal, de este modo, la simulación se realiza en consecuencia mediante el modelo 12 de elementos finitos. Como un resultado, se genera el segundo conjunto de datos 8, que incluye datos de sensores virtuales. Al menos una parte de los datos del segundo conjunto de datos 8 se comunica con la evaluación 18 de estado, que realiza una evaluación 9 de riesgo.

30 Por medio de la evaluación 9 de riesgo, el estado real presente, que previamente fue declarado como un estado anormal por la inteligencia 11 artificial, se clasifica ya sea como un estado 14 crítico o como un estado 13 normal. Si la clasificación en el estado 14 crítico es efectuado, de este modo, un mensaje 15 de advertencia es generado por una evaluación 18 de estado.

Si se efectúa la clasificación como un estado 13 normal, de este modo, los conjuntos de datos correspondientes a este estado 13 normal se suministran al almacén de conjuntos de datos 7 de la inteligencia 11 artificial. El almacén de conjuntos de datos 7 de la inteligencia 11 artificial por lo tanto se extiende por el conjunto de datos correspondiente a este estado 13 normal.

35 Basado en la figura 3, se debe ilustrar una validación de modelo basada en un componente 19 de validación que usa los datos 10 de sensor. El componente 19 de validación es un constituyente del dispositivo 6 informático. Tanto para el modelo 12 de elementos finitos como para los datos 10 de sensor relacionados con la presa 1, los conjuntos de datos asociados con las condiciones 5 ambientales presentan variables de entrada. Mientras que los datos 10 de sensor correspondientes se generan en la presa 1 como un resultado de las condiciones 5 ambientales, que corresponden a los datos reales, el segundo conjunto de datos 8 es generado por el modelo 12 de elementos finitos, que contiene datos de sensores virtuales. En ello, el número de datos 10 de sensor relacionados con la presa 1 pueden ser considerablemente menores que el número de los datos de sensores virtuales del segundo conjunto de datos 8.

45 El modelo 12 de elementos finitos tiene el objetivo de simular los estados reales, de este modo los estados reales de la represa 1, tan exactamente como sea posible. Dado que el modelo 12 de elementos finitos es una emulación geoméricamente similar de la geometría de la presa 1 real dentro del alcance de la precisión capaz de modelar, los datos 10 de sensor se comparan con los datos de sensores virtuales del segundo conjunto de datos 8 con el propósito de validación, que está en una ubicación geoméricamente similar como los sensores 4 en la presa 1. Mediante la comparación directa de los sensores virtuales del segundo conjunto de datos 8 con los datos 10 de sensor reales, se verifica dentro del componente 19 de validación si los datos de sensores virtuales del segundo conjunto de datos 8 corresponden a los datos 10 de sensor de la presa 1 con suficiente precisión.

50 Si este es el caso, de este modo, se asume que todos los datos de sensores virtuales restantes también reproducen de manera suficientemente precisa las condiciones reales. Esto también se asume si la comparación directa con los datos 10 de sensor reales no es posible para estos datos de sensores virtuales puesto que no hay un sensor 4 para la comparación directa colocado en la ubicación geoméricamente similar en la presa 1.

55 La generación de un conjunto de datos asociado con la evaluación 9 de riesgo se describe con referencia a la figura 4. La evaluación 9 de riesgo es un constituyente de del dispositivo 6 informático. Los conjuntos de datos que

5 corresponden respectivamente a las condiciones 5 ambientales y los datos 10 de sensor entran al modelo 12 de elementos finitos. El conjunto de datos de un estado 17 de presa está determinado por el modelo 12 elementos finitos y contiene al menos una parte del segundo conjunto de datos 8 del modelo 12 de elementos finitos. El conjunto de datos del estado 17 de presa se comunica a la evaluación 18 de estado, en donde la evaluación 18 de estado genera un conjunto de datos asociado con la evaluación 9 de riesgo y al menos una parte del segundo conjunto de datos 8, que contiene los datos de sensores virtuales.

10 Basado en la figura 5, al extender el primer conjunto de datos 7 de la inteligencia 11 artificial mediante conjuntos de datos que describen un estado 13 normal, se clarifica un constituyente adicional del dispositivo 6 informático. Además, una parte del segundo conjunto de datos 8 del modelo 12 de elementos finitos se suministra al componente 19 de validación.

15 Los conjuntos de datos asociados con las condiciones 5 ambientales así como los conjuntos de datos de los datos 10 de sensor sirven como variables de entrada para el modelo 12 de elementos finitos. El modelo 12 de elementos finitos genera el segundo conjunto de datos 8 basado en estas variables de entrada, que es al menos parcialmente suministrado a la evaluación 9 de riesgo. La evaluación 9 de riesgo evalúa si la parte comunicada del conjunto de datos 8 presente está asociada con uno de los estados 13 normales o uno de los estados 14 críticos. Si el estado real se declara como un estado 13 normal, de este modo, los datos asociados con el estado 13 normal se suministran al conjunto de datos 7 o£ de la inteligencia 11 artificial. Por el contrario, si el estado real se evalúa como el estado 14 crítico por la evaluación 9 de riesgo, de este modo, este conjunto de datos asociado con el estado crítico no se suministra al conjunto de datos 7 o£ de la inteligencia 11 artificial. Más bien, se genera el mensaje 15 de advertencia. 20 La comunicación o£ de datos desde el modelo 12 de elementos finitos a la inteligencia 11 artificial se efectúa a través de un enlace de comunicación, que inmediatamente se forma como una línea 23 de datos. Esta línea 23 de datos se usa para entrenar la inteligencia 11 artificial con una parte del segundo conjunto de datos 8 del modelo 12 de elementos finitos.

25 Basado en la figura 6, se ilustra una interfaz 20 que extiende el dispositivo 6 informático. Al acoplar la interfaz 20 a los conjuntos de datos asociados con los datos 10 de sensor así como a los conjuntos de datos 8 del modelo 12 de elementos finitos, diferentes datos 22 de estado pueden dividirse en clases, que incluyen tanto conjuntos de datos de diferentes tipos de daños como conjuntos de datos de estados normales

30 En una etapa adicional, estos conjuntos de datos se dividen en conjuntos de datos que describen estados 13 normales así como conjuntos de datos que describen estados 16 anormales y se suministran al primer conjunto de datos 7 de la inteligencia 12 artificial. De este modo, el primer conjunto de datos 7 se extiende por los conjuntos de datos que describen el estado 16 anormal.

35 Como un resultado, la inteligencia 12 artificial se le permite generar probabilidades 21 para la ocurrencia de diversos estados. Las probabilidades 21 pueden por ejemplo ser una probabilidad de ruptura, falla de tubería o deslizamiento. El personal operativo puede por ejemplo ingresar manualmente los datos a través de la interfaz 20, que describe los estados o tales daños de la estructura.

Lista de caracteres de referencia

- 1 presa
- 2 aire
- 3 agua
- 40 4 sensor
- 5 condiciones ambientales
- 6 dispositivo informático
- 7 primer conjunto de datos
- 8 segundo conjunto de datos
- 45 9 evaluación de riesgo
- 10 datos de sensor
- 11 inteligencia artificial
- 12 modelo de elementos finitos
- 13 estado normal
- 50 14 estado crítico

- 15 mensaje de advertencia
- 16 estado anormal
- 17 estado de presa
- 18 evaluación de estado
- 5 19 componente de validación
- 20 interfaz
- 21 probabilidad
- 22 datos de estado
- 23 línea de datos

**REIVINDICACIONES**

1. Método para monitorizar una estructura (1) que aísla un primer medio (2) de un segundo medio (3), en donde el primer medio (2) ejerce una presión más alta sobre la estructura (1) que el segundo medio (3),  
 5 en el que al menos un sensor (4) adquiere al menos una variable física relacionada con esta estructura (1) y dependiendo de las condiciones (5) ambientales genera datos (10) de sensor y  
 en el que el al menos un sensor (4) comunica los datos (10) de sensor a un dispositivo (6) informático, en donde el dispositivo (6) informático comprende un primer componente (11) que recibe los datos (10) de sensor y que tiene los primeros conjuntos de datos (7) que indican un estado normal de la estructura (1) y un segundo componente (12) que recibe las condiciones (5) ambientales y los datos (10) de sensor y que tiene un segundo conjunto de datos (8),  
 10 en donde el primer componente (11) del dispositivo (6) informático detecta una desviación de un estado real de la estructura (1) de un estado objetivo de la estructura (1) basado en los datos (10) de sensor del al menos un sensor (4) comparando los datos (10) de sensor con los primeros conjuntos (7) de datos,  
 en donde, si un valor de la desviación es mayor que un valor de umbral preestablecido, se determina que el estado real presente descrito por un conjunto de datos determinado por los datos (10) de sensor es un estado (16) anormal y se determina (9) por medio del dispositivo (6) informático si existe un estado (14) crítico de la estructura (1), lo que da razones para esperar la ocurrencia de daños, en donde  
 15 si se determina el estado (16) anormal, para determinar si existe un estado (14) crítico, el segundo componente (12) genera el segundo conjunto de datos (8) que incluye datos de sensores virtuales sobre la base de una simulación y suministra al menos parte del segundo conjunto de datos (8) a una unidad (9) de evaluación de riesgo que realiza una evaluación de riesgo, en donde  
 20 si la unidad (9) de evaluación de riesgo clasifica el estado real previamente determinado como un estado (16) anormal por el primer componente (11) como un estado (14) crítico, genera un mensaje (15) de advertencia; y  
 si la unidad (9) de evaluación de riesgo clasifica el estado real previamente determinado como un estado (16) anormal por el primer componente (11) como un estado (13) normal, el almacén de los primeros conjuntos (7) de datos del primer componente (11) se extiende por el conjunto de datos correspondiente a este estado (13) normal.  
 25
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque en caso de exceder el valor de umbral preestablecido por una primera cantidad, el estado real se clasifica primero como un estado (16) anormal por el primer componente (11), en donde este estado real es evaluado como un estado (13) normal por el segundo componente (12), y entonces se suministra un conjunto de datos que describe este estado real al primer componente (11) para extender un almacén de conjuntos de datos que describen los estados (13) normales.  
 30
3. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado porque en caso de exceder el valor de umbral preestablecido por una segunda cantidad, el estado real se clasifica como un estado (16) anormal por el primer componente, en donde este estado real es evaluado como un estado (14) crítico por el segundo componente (12).  
 35
4. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el estado (14) crítico identificado por el segundo componente (12) está asociado con al menos un tipo de daño de la estructura (1) y un conjunto de datos que describe al menos un tipo de daño se suministra al primer componente (11).  
 40
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque el primer componente (11) determina las probabilidades (21) de la ocurrencia de al menos un tipo de daño y genera un mensaje (15) de advertencia correspondiente.  
 45
6. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque se emplea un sistema de inteligencia artificial como el primer componente (11) y se emplea un sistema para determinar deformaciones y/o fuerzas y/o esfuerzos mecánicos de la estructura (1) como el segundo componente (12).  
 50
7. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque se suministran conjuntos de datos (22) adicionales relacionados con el estado de la estructura (1) al dispositivo (6) informático a través de una interfaz (20).  
 8. Dispositivo de monitorización para una estructura (1), mediante la cual se puede aislar un primer medio (2) de un segundo medio (3), en donde por medio del primer medio (2) se ejerce una presión más alta sobre la estructura (1) que por medio del segundo medio (3), que incluye  
 al menos un sensor (4), mediante el cual se adquiere al menos una variable física relacionada con esta estructura (1) y que depende de las condiciones ambientales, el sensor (4) que genera datos (10) de sensor se comunica a un dispositivo (6) informático, en donde el dispositivo (6) informático comprende un primer componente (11) que recibe

los datos (10) de sensor y que tiene los primeros conjuntos (7) de datos que indican un estado normal de la estructura (1) y un segundo componente (12) que recibe las condiciones (5) ambientales y los datos (10) de sensor y que tiene un segundo conjunto de datos (8),

5 en donde el primer componente (11) del dispositivo (6) informático detecta una desviación de un estado real de la estructura (1) de un estado objetivo de la estructura (1) basado en los datos (10) de sensor de al menos un sensor (4) comparando los datos (10) de sensor con los primeros conjuntos (7) de datos,

10 en donde si un valor de la desviación es mayor que un valor de umbral preestablecido, se determina que el estado real presente descrito por un conjunto de datos determinado por los datos (10) de sensor es un estado (16) anormal y se determina (9) por medio del dispositivo (6) informático si existe un estado (14) crítico de la estructura (1), lo que da razones para esperar la ocurrencia de daños, en donde

el primer componente (11) del dispositivo (6) informático está acoplado al segundo componente (12) del dispositivo (6) informático a través de un enlace de comunicación adaptado para transmitir datos,

15 Si el estado (16) anormal está determinado por el primer componente (11), para determinar si existe un estado (14) crítico, el segundo componente (12) genera el segundo conjunto de datos (8) que incluye datos de sensores virtuales sobre la base de una simulación y suministra al menos parte del segundo conjunto de datos (8) a una unidad (9) de evaluación de riesgo que realiza una evaluación de riesgo, en donde

si la unidad (9) de evaluación de riesgo clasifica el estado real previamente determinado como un estado (16) anormal por el primer componente (11) como un estado (14) crítico, genera un mensaje (15) de advertencia; y

20 si la unidad (9) de evaluación de riesgo clasifica el estado real previamente determinado como un estado (16) anormal por el primer componente (11) como un estado (13) normal, el almacén de los primeros conjuntos (7) de datos del primer componente (11) se extiende por el conjunto de datos correspondiente a este estado (13) normal.

FIG 1

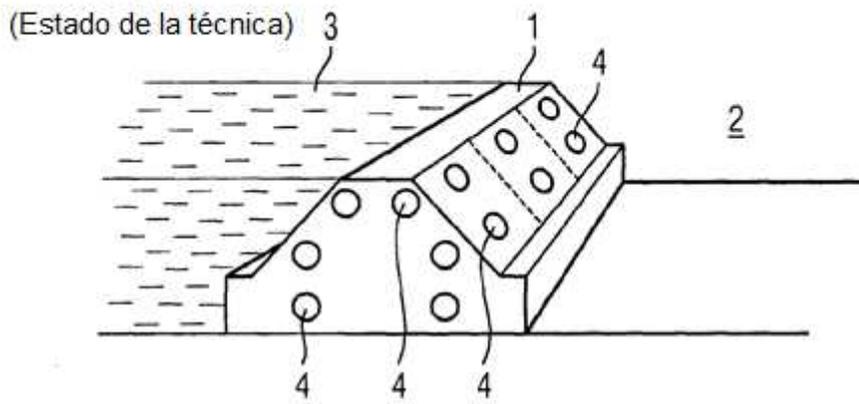


FIG 2

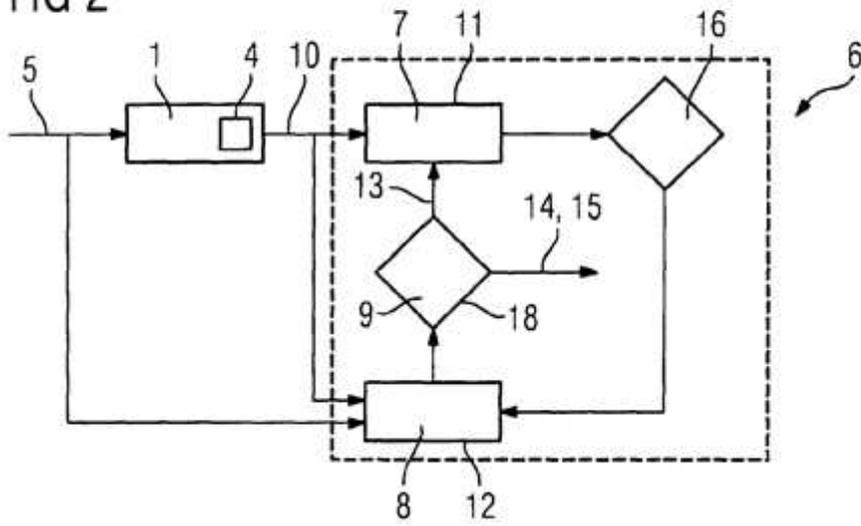


FIG 3

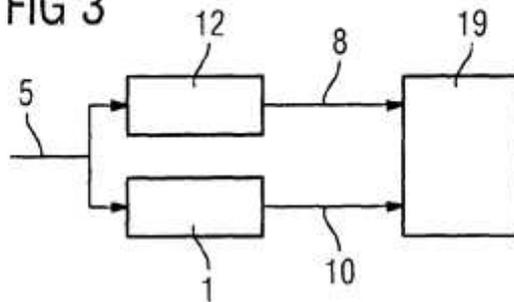


FIG 4

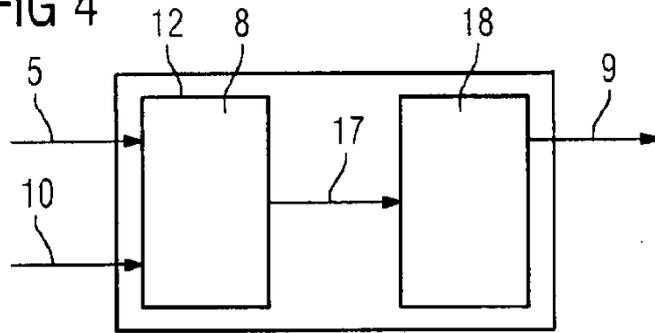


FIG 5

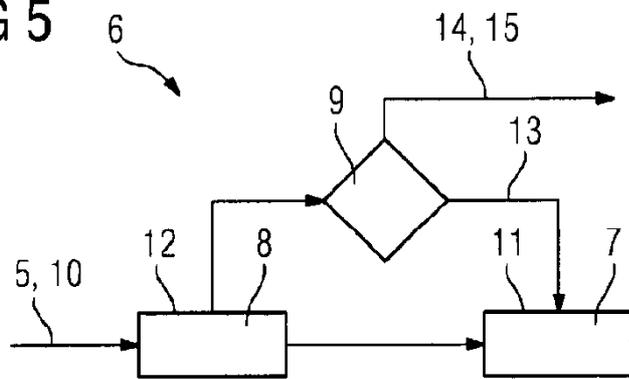


FIG 6

