



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 342 562**

(51) Int. Cl.:

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/406 (2006.01)

G05B 19/23 (2006.01)

G06F 17/18 (2006.01)

G06K 9/62 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **06838908 .9**

(96) Fecha de presentación : **04.12.2006**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1960853**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **27.08.2008**

(54) Título: **Evaluación de una anomalía para clasificadores de una clase en la monitorización del estado de una máquina.**

(30) Prioridad: **07.12.2005 US 742990 P**
27.11.2006 US 563241

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.07.2010

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.07.2010

(73) Titular/es: **Siemens Corporation**
170 Wood Avenue South
Iselin, New Jersey 08830, US

(72) Inventor/es: **Neubauer, Claus y**
Yuan, Chao

(74) Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 342 562 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

Evaluación de una anomalía para clasificadores de una clase en la monitorización del estado de una máquina.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere de manera general al campo de la monitorización del estado de una máquina, y más particularmente a técnicas y sistemas para extraer información útil adicional de un clasificador de una clase.

10 **Antecedentes de la invención**

Actualmente muchas instalaciones de equipo de servicios y fabricación incluyen, además de sistemas para controlar máquinas y procesos, sistemas para la monitorización del estado de una máquina. Los sistemas de monitorización del estado de una máquina incluyen una serie de sensores instalados en el equipo, una red de comunicaciones que enlaza esos sensores y un procesador conectado a la red para recibir señales desde los sensores y realizar determinaciones sobre los estados de la máquina a partir de esas señales.

El propósito de la monitorización del estado de una máquina es detectar fallos lo antes posible para evitar un daño adicional de las máquinas. Normalmente, se empleaban modelos físicos para describir la relación entre sensores que miden el rendimiento de una máquina. La violación de esas relaciones físicas podía indicar fallos. Sin embargo, los modelos físicos precisos son con frecuencia difíciles de adquirir.

Una alternativa al uso de modelos físicos es el uso de modelos estadísticos basados en técnicas de aprendizaje de máquinas. Este enfoque ha adquirido un mayor interés en las últimas décadas. Al contrario que un modelo físico, que supone relaciones de sensor conocidas, un modelo estadístico aprende las relaciones entre sensores a partir de datos históricos. Esa característica de los modelos estadísticos es una gran ventaja porque el mismo modelo genérico puede aplicarse a diferentes máquinas. Los modelos aprendidos sólo se diferencian en sus parámetros.

Se usan dos tipos básicos de modelos estadísticos en la monitorización del estado de una máquina: un modelo basado en la regresión y un modelo basado en la clasificación. En un modelo de regresión, se usa un conjunto de sensores para predecir (o estimar) otro sensor. Dado que un modelo de regresión puede producir una estimación continua, la desviación del valor real de la estimación puede usarse directamente para el diagnóstico de fallos. Por ejemplo, puede construirse una lógica sencilla como “cuanto mayor es la desviación, mayor es la posibilidad de fallo”.

En un modelo basado en la clasificación, la salida es discreta. Una aplicación de un modelo basado en la clasificación es un detector fuera de intervalo, en el que con frecuencia se emplea un clasificador de una clase. La salida de un clasificador de una clase indica si hay un estado de fuera de intervalo o no. Tal información de salida es demasiado limitada como para ser útil a cualquier nivel sofisticado de diagnóstico de fallo de máquina. Por tanto, existe la necesidad de extraer información útil a partir de un clasificador de una clase para beneficiar el diagnóstico de fallos de alto nivel.

La clasificación de una clase se refiere a un tipo especial de problema de reconocimiento de patrón. Sea C_1 una determinada clase de interés. Para una entrada de prueba x , la salida de un clasificador de una clase indica si x pertenece a C_1 o C_0 (que representa cualquier clase distinta de C_1). Si x no pertenece a C_1 , entonces x se denomina con frecuencia una anomalía (o una novedad). Generalmente, el objetivo del entrenamiento de un clasificador de una clase es hallar una función de evaluación $f(x)$ que indica la confianza o probabilidad de que la entrada x pertenezca a C_1 . Por consiguiente, esa función de evaluación $f(x)$ define la región de decisión R_1 para la clase C_1 de manera que $R_1 = \{x : f(x) \geq T\}$, donde T es un umbral de decisión. Si $f(x) \geq T$, x se clasifica como C_1 ; de lo contrario, x se clasifica como C_0 .

La clasificación de una clase se ha usado en muchas aplicaciones incluyendo la monitorización del estado de una máquina. En muchos problemas de clasificación de una clase, sólo está disponible una salida de decisión binaria; es decir, x pertenece a C_1 o x pertenece a C_0 . Sin embargo, en muchos casos además de saber que x es una anomalía, también existe la necesidad de evaluar esa anomalía para ver cómo de diferente es con respecto a la distribución de C_1 .

Una región de decisión R_1 , mostrada en la figura 1, representa un intervalo de funcionamiento normal de un vector de sensor en un ejemplo de monitorización del estado de una máquina. El intervalo R_1 está limitado por la línea 120 definida por $f(x) = T$. Durante un periodo de monitorización, se detectan dos anomalías diferentes, x_1 y x_2 , por el mismo clasificador de una clase. De las dos, x_2 es muy diferente del intervalo de funcionamiento normal R_1 ; por tanto es muy probable que x_2 represente un estado de fallo. Sin embargo, x_1 está mucho más cerca de R_1 . Una desviación pequeña de este tipo puede no deberse a un fallo, sino que puede deberse en su lugar a un ruido de medición o una operación errónea menor. En el caso de x_2 , debe llevarse a cabo una inspección inmediatamente. Sin embargo, en el caso de x_1 , normalmente debe realizarse una nota de alerta, y debe requerirse observación adicional antes de emprender cualquier acción grave. Por tanto, sería beneficioso tener información adicional sobre una medición más allá de una simple indicación de si la medición está dentro del intervalo normal.

Podría usarse directamente la función de evaluación $f(x)$ para evaluar una anomalía. Sin embargo, en muchos algoritmos el valor de $f(x)$ no contiene significación física y no puede servir como medida significativa.

Por tanto, actualmente existe la necesidad de un procedimiento para proporcionar información adicional sobre mediciones en un sistema de clasificación de una clase usado en la monitorización del estado de una máquina. Ese procedimiento debe recoger información sobre cómo de diferente es una anomalía particular con respecto al intervalo de funcionamiento normal de una máquina.

5

El documento D1 da a conocer un procedimiento para controlar un proceso industrial, comprendiendo el procedimiento: emitir una pluralidad de parámetros a partir de un proceso para fabricar una sustancia; usar cada uno de la pluralidad de parámetros en un proceso asistido por ordenador, comparando el proceso asistido por ordenador al menos dos de la pluralidad de parámetros con un conjunto de entrenamiento de parámetros, estando predeterminado el conjunto de entrenamiento de parámetros; determinar si los al menos dos de la pluralidad de parámetros están dentro de un intervalo predeterminado del conjunto de entrenamiento de parámetros; y emitir un resultado basándose en la etapa de determinación.

10

El documento D2 da a conocer comparar la distancia de un posible segmento de fallo (segmento F) a partir del más próximo de varios segmentos de modo de funcionamiento correcto (segmento A) con la distancia del segmento A a los otros segmentos de modo de funcionamiento correcto más alejados (segmento B).

15

Sumario de la invención

La presente invención trata las necesidades descritas anteriormente proporcionando un procedimiento de monitorización de máquinas. El procedimiento evalúa una anomalía detectada por un clasificador de una clase. La anomalía x se proyecta sobre el límite más próximo de la región de decisión R_1 y la distancia entre x y la proyección de x se usa como medida para la anomalía.

20

Una realización de la invención es un procedimiento para evaluar una medición de anomalía x' en un sistema de monitorización del estado de una máquina en el que se evalúan mediciones x_i en un clasificador de una clase que tiene una región de decisión R_1 para la clase C_1 de manera que una función de evaluación $f(x)$ es superior o igual a un umbral T para una medición x dentro de la región, e inferior a T fuera de la región. El procedimiento incluye las etapas de entrenar al clasificador de una clase para establecer la región de decisión R_1 a partir de un conjunto de muestras de entrenamiento $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$; recibir la medición de anomalía x' ; determinar que la medición de anomalía está fuera de la región R_1 ; determinar una distancia desde la medición x' hasta un límite de la región R_1 ; y evaluar la medición de anomalía x' basándose en la distancia.

25

30

La distancia puede ser una distancia euclídea. La etapa de determinar una distancia desde la medición x' hasta la región R_1 puede realizarse iterativamente.

35

La etapa de determinar una distancia desde la medición x' hasta la región R_1 puede comprender además las etapas de hallar una muestra más cercana q , en la región R_1 , a la medición x' ; y definir un punto promedio m entre la medición x' y la muestra más cercana q . Si la diferencia entre $f(m)$ y T es superior a un error permisible, entonces si $f(m) < T$, se asigna m a x' y se vuelve a la etapa de definición; y si $f(m) > T$, se asigna m a q y se vuelve a la etapa de definición. Si la diferencia es inferior al error permisible, se asigna una distancia desde la medición x' hasta m como la distancia desde la medición x' hasta un límite de la región R_1 .

40

La etapa de hallar una muestra más cercana q , en la región R_1 , a la medición x' puede comprender además usar distancias euclídeas entre x' y las muestras.

45

La etapa de hallar una muestra más cercana q , en la región R_1 , a la medición x' puede comprender además la etapa de reducir el número de muestras en la región R_1 aplicando un algoritmo k-medias.

La etapa de evaluar la medición de anomalía x' basándose en la distancia puede comprender además evaluar el grado de la anomalía basándose en la distancia. La etapa de definir un punto promedio m entre la medición x' y la muestra más cercana q puede comprender además calcular $(x' + q)/2$.

50

El procedimiento puede comprender además la etapa de obtener la función de evaluación $f(x)$ usando un algoritmo seleccionado del grupo que consiste en un algoritmo del vecino más próximo, una función de densidad de probabilidad y un producto interno para una máquina de representación de vector de apoyo.

55

En otra realización de la invención, se proporciona un medio utilizable por un ordenador que tiene instrucciones legibles por ordenador almacenadas en el mismo para su ejecución por un procesador para realizar los procedimientos descritos anteriormente.

60

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una visualización esquemática de un clasificador de una única clase usado en un sistema de monitorización de máquinas, que muestra anomalías.

65

La figura 2 es una ilustración esquemática de un sistema de monitorización de máquinas según una realización de la invención.

La figura 3 es una visualización esquemática de un clasificador de una única clase usado en un sistema de monitorización de máquinas, que ilustra un procedimiento según una realización de la invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo que representa un procedimiento según una realización de la invención.

Descripción de la invención

En la figura 2 se muestra un sistema 210 para monitorizar estados de máquinas 220, 230, 240 según una realización de la invención. El sistema incluye una pluralidad de sensores de máquina tales como los sensores 221A, 221B conectados a la máquina 220. Los sensores pueden ser, por ejemplo, acelerómetros, sensores de temperatura, sensores de flujo, sensores de posición, sensores de velocidad, sensores químicos o cualquier sensor que mida un estado de una máquina o un proceso. Los sensores miden estados elegidos porque están relacionados de maneras predecibles que reflejan la presencia o ausencia de estados de funcionamiento normal en una instalación 200.

Los sensores 221A, 221B están conectados mediante una red 250 de datos con una interfaz 218 de datos en el sistema 210 de monitorización del estado de una máquina. Un procesador 216 recibe los datos de sensor a partir de la interfaz 218 de datos y realiza los procedimientos de monitorización de la invención. El procesador está conectado con medios 212 de almacenamiento para almacenar instrucciones legibles por ordenador que, cuando se ejecutan, realizan los procedimientos de monitorización. Los medios 212 de almacenamiento también pueden almacenar datos históricos recibidos desde los sensores 221A, 221B. Se proporciona una interfaz 214 de usuario para comunicar resultados y recibir instrucciones por parte de un usuario.

El procedimiento de la invención usa un grupo de “buenas” mediciones tal como un conjunto de muestras de entrenamiento $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ para la clase C_1 , mostrado en la figura 3. Aunque también puede haber muestras de entrenamiento negativas de la clase C_0 , esas muestras no se usan en el presente procedimiento.

Después del proceso de entrenamiento, se obtiene la función de evaluación $f(x)$, cuya forma depende del algoritmo de aprendizaje. Por ejemplo, usando un algoritmo del vecino más próximo, $f(x)$ puede definirse como 1 menos la distancia mínima entre la entrada x y x_i . $f(x)$ también puede ser una función de densidad de probabilidad o un producto interno para la máquina de representación de vector de apoyo. Para cualquiera de esos clasificadores de una clase, si x está dentro de R_1 o $f(x) \geq T$, donde T es un umbral de decisión, x se clasifica como C_1 ; de lo contrario, x se clasifica como C_0 o una anomalía.

Si x se clasifica como una anomalía tal como la medición x' de la figura 3, esa anomalía se evalúa según la invención. x se proyecta sobre el límite más próximo de R_1 y se obtiene la proyección x^* . El valor $|x - x^*|$ (donde $||$ representa la norma de un vector) se usa como la medida para una magnitud de la anomalía.

El valor x^* se aproxima usando un algoritmo de dos etapas. Tal como se muestra en la figura 3, se supone que, en el conjunto de “buenas” mediciones que llena la región de decisión R_1 , todos los prototipos q satisfacen $f(q) \geq T$. Tal como se indica, esos prototipos pueden ser sencillamente el conjunto de entrenamiento $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, que están dentro de R_1 .

Si el número de muestras de entrenamiento es grande, pueden aplicarse algoritmos k-medias para reducir el número de prototipos.

En la primera etapa del procedimiento, se halla un prototipo más próximo q a la anomalía x' usando una distancia euclídea. Por ejemplo, si q y x' son vectores bidimensionales, se busca en las muestras de entrenamiento un q que tenga una distancia mínima D entre ese q y x' , donde:

$$D = \sqrt{(x'_x - x_q)^2 + (x'_y - y_q)^2}.$$

El procedimiento busca x^* , que satisface $f(x^*) = T$, entre x ($f(x^*) < T$) y q ($f(q) \geq T$). Se realiza una búsqueda iterativa tal como sigue:

(I) Se calcula un punto promedio: $m = (x' + q)/2$.

(II) Si $f(m)$ está lo bastante cerca de T , se detiene el procedimiento y $x^* = m$.

(III) Si $f(m) < T$ (tal como se muestra en la figura 3), se asigna $x' = m$ y se vuelve a (I).

(IV) Si $f(m) > T$, se asigna $q = m$ y se vuelve a (I).

Tal como se muestra esquemáticamente en la figura 3, la región de decisión R_1 se produce mediante entrenamiento usando los prototipos x_i . Para la anomalía x' , se encuentra que el prototipo más próximo es q . $m = (x' + q)/2$ es el punto promedio tras la primera iteración. x^* es el punto de proyección final.

5 La mayoría de los clasificadores de una clase sólo produce una salida binaria: normal o anómala. Sin embargo, en caso de una anomalía la capacidad para evaluar el grado de anomalía es importante en muchas aplicaciones, tal como se mostró anteriormente. El procedimiento de la invención trata cómo evaluar una anomalía detectada por un clasificador de una clase general. Se usa la distancia entre la anomalía x' y su punto de proyección más próximo x^* sobre el límite de la región de decisión R_1 como esa medida. El procedimiento de la invención proporciona una técnica
10 para buscar x^* . Los resultados pueden servir como entradas para un diagnóstico de fallo de alto nivel.

En el diagrama de flujo de la figura 4 se ilustra un procedimiento 400 de la invención. Inicialmente se entrena (etapa 410) un clasificador de una clase para establecer una región de decisión R_1 a partir de un conjunto de muestras de entrenamiento ($x_1, x_2, \dots, x_N$). El entrenamiento proporciona una función $f(x)$ mediante la cual un valor de $f(x)$
15 inferior a un umbral T indica una anomalía, y un valor de $f(x)$ superior o igual a T indica una medición dentro de la región de decisión R_1 .

Se recibe (etapa 420) una medición x' que es una medición de anomalía; es decir, una medición que está fuera de la región R_1 . Una vez se determina que la medición x' es una anomalía, se halla (etapa 430) la muestra más cercana q
20 de las muestras de entrenamiento ($x_1, x_2, \dots, x_N$).

Entonces se recurre a un proceso iterativo para hallar una distancia desde la medición x' hasta un límite de la región R_1 ; es decir, hasta el punto más próximo donde $f(x) = T$. Se define (etapa 440) un punto promedio m entre la medición x' y la muestra más cercana q . Entonces se evalúa $f(m)$, y si el valor de f en m está lo suficientemente cerca de T
25 (decisión 450), entonces se calcula una distancia desde x' hasta m y se usa como medida de anomalía de la medición x' (etapa 490) finaliza el procedimiento (etapa 499). Si el valor de f en m está lo suficientemente cerca de T o no puede determinarse mediante si los valores están dentro de un error permisible entre sí.

Si $f(m) - T$ es superior al error permisible, entonces si $f(m) < T$ (decisión 460) (es decir, si m está fuera de la región R_1), x se fija a m (etapa 470) y el procedimiento vuelve a la etapa de determinar un punto promedio m entre x'
30 y q (etapa 440). Si $f(m) > T$ (decisión 460) (es decir, si m está dentro de la región R_1), q se fija a m (etapa 480) y el procedimiento vuelve a la etapa de determinar un punto promedio m entre x' y q (etapa 440).

Debe entenderse que la descripción detallada anterior es en todos los aspectos ilustrativa y a modo de ejemplo,
35 pero no restrictiva, y el alcance de la invención descrita en el presente documento no debe determinarse a partir de la descripción de la invención, sino más bien a partir de las reivindicaciones interpretadas según el alcance completo permitido por la ley de patentes. Por ejemplo, aunque el procedimiento se da a conocer en el presente documento describiendo la monitorización del estado de una máquina, el procedimiento puede usarse en cualquier sistema de evaluación estadística que tenga una salida binaria aprendida, al tiempo que permanece dentro del alcance de la inven-
40 ción. Debe entenderse que las realizaciones mostradas y descritas en el presente documento sólo son ilustrativas de los principios de la presente invención.

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para evaluar una medición de anomalía x' en un sistema de monitorización del estado de una máquina en el que se evalúan mediciones x_i en un clasificador de una clase que tiene una región de decisión R_1 para la clase C_1 de manera que una función de evaluación $f(x)$ es superior o igual a un umbral T para una medición x dentro de la región, e inferior a T fuera de la región, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
10 entrenar al clasificador de una clase para establecer la región de decisión R_1 a partir de un conjunto de muestras de entrenamiento $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$;
recibir la medición de anomalía x' ;
determinar que la medición de anomalía está fuera de la región R_1 ;
15 **caracterizado** porque el procedimiento comprende además las etapas de:
determinar una distancia desde la medición x' hasta un límite de la región R_1 ; y
20 evaluar la medición de anomalía x' basándose en la distancia.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la distancia es una distancia euclídea.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de determinar una distancia desde la medición x' hasta la región R_1 se realiza iterativamente.
25 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de determinar una distancia desde la medición x' hasta la región R_1 comprende además las etapas de:
30 hallar la muestra más cercana q , en la región R_1 , a la medición x' ;
definir un punto promedio m entre x' y q ;
si la diferencia entre $f(m)$ y T es superior a un error permisible, entonces si $f(m) < T$, asignar m a x' y volver a la etapa de definición; y si $f(m) > T$, asignar m a q y volver a la etapa de definición; y
35 si la diferencia es inferior al error permisible, asignar una distancia desde la medición x' hasta m como la distancia desde la medición x' hasta un límite de la región R_1 .
40 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la etapa de hallar la muestra más cercana q , en la región R_1 , a la medición x' comprende además usar distancias euclídeas entre x' y las muestras.
6. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la etapa de hallar la muestra más cercana q , en la región R_1 , a la medición x' comprende además la etapa de:
45 reducir el número de muestras en la región R_1 aplicando un algoritmo k-medias.
7. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la etapa de evaluar la medición de anomalía x' basándose en la distancia comprende además evaluar el grado de la anomalía basándose en la distancia.
50 8. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la etapa de definir un punto promedio m entre la medición x' y la muestra más cercana q comprende además calcular
$$(x' + q)/2$$

55
9. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de:
obtener la función de evaluación $f(x)$ usando un algoritmo seleccionado del grupo que consiste en un algoritmo del vecino más próximo, una función de densidad de probabilidad y un producto interno para una máquina de representación de vector de apoyo.
60
10. Producto de programa informático que contiene instrucciones adaptadas para iniciar un sistema para llevar a cabo las etapas del procedimiento definido en las reivindicaciones 1 a 9 cuando dichas instrucciones se cargan en un procesador de dicho sistema.
65

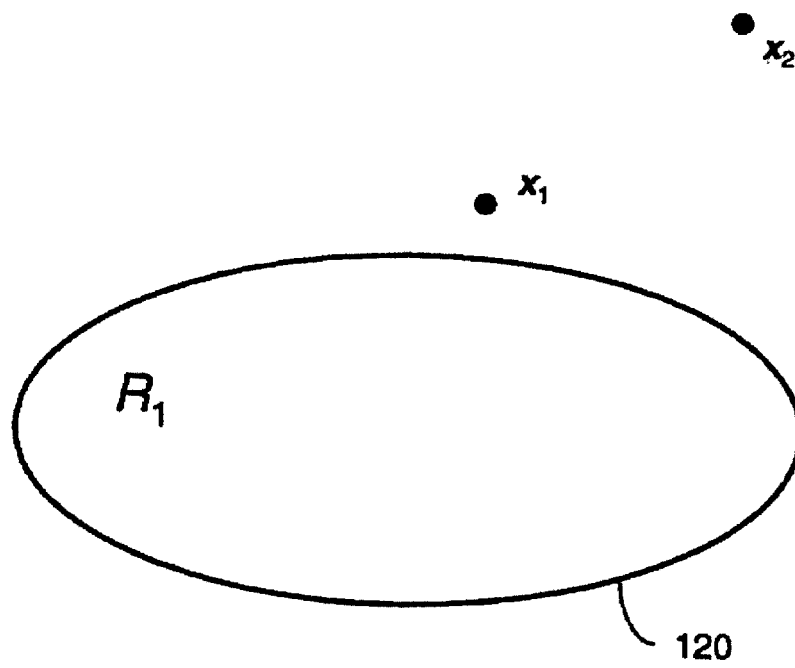


Fig. 1

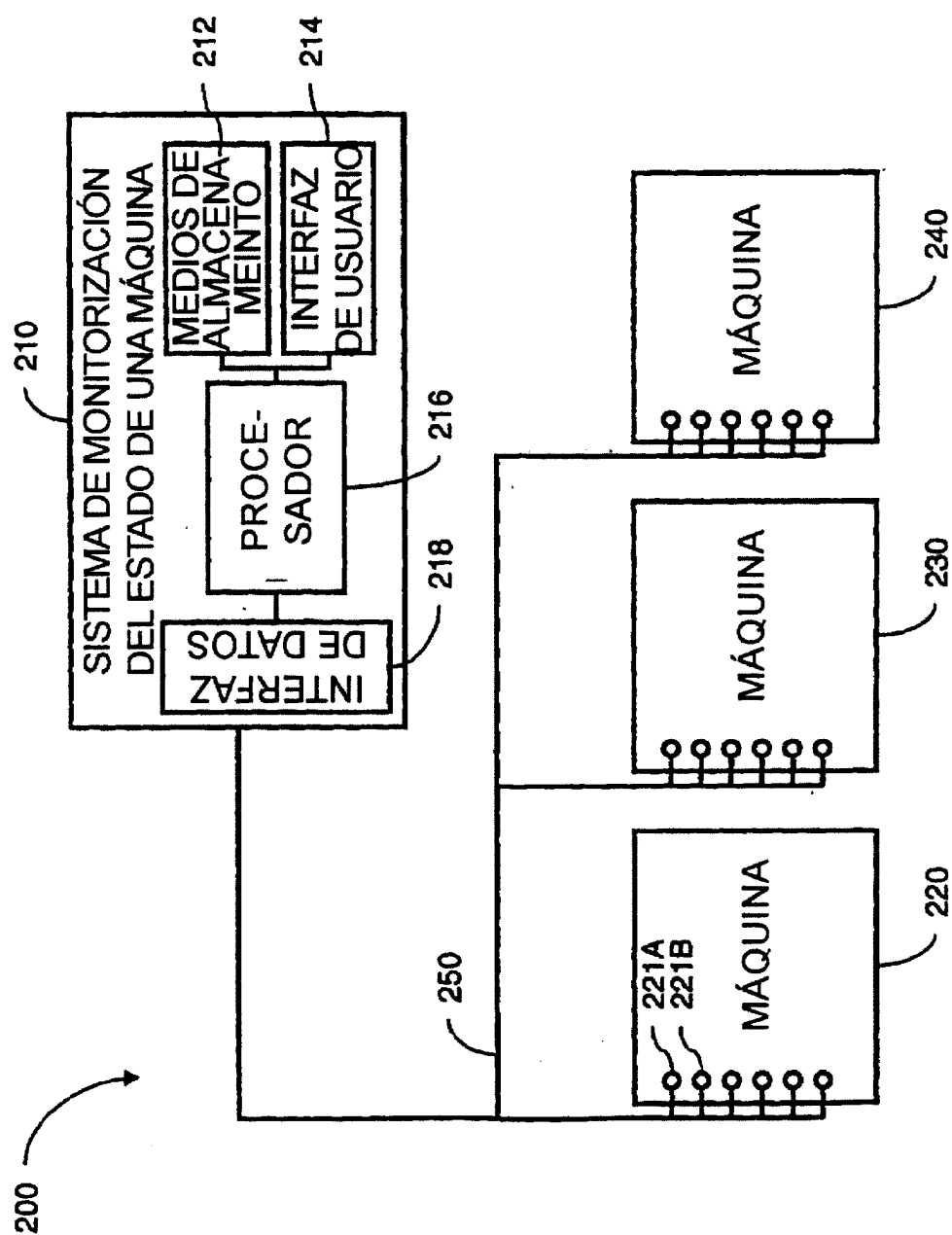


Fig. 2

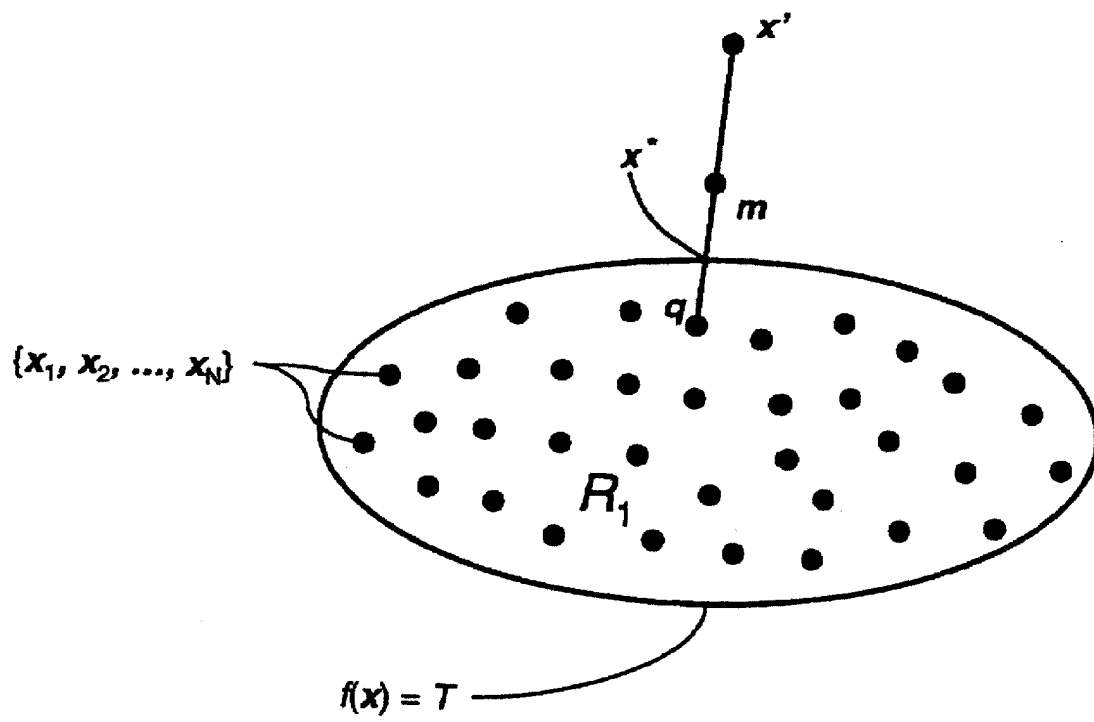


Fig. 3

