

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2011/048231 A1

(43) Fecha de publicación internacional
28 de abril de 2011 (28.04.2011)

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G05B 19/404 (2006.01) *B23Q 11/00* (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2009/070453

(22) Fecha de presentación internacional:
23 de octubre de 2009 (23.10.2009)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSIDAD DE BURGOS** [ES/ES]; C/ Hospital s/n, E-09001 Burgos (ES). **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS** [ES/ES]; C/ Serrano, 117, E-28006 Madrid (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **BUSTILLO IGLESIAS, Andrés** [ES/ES]; C/ Calzadas 5, 9º D, E-09004 Burgos (ES). **CORREA VALENCIA,**

Maritza [CO/ES]; C/ Menorca 23, 4 E, E-28009 Madrid (ES). **HABER GUERRA, Rodolfo Elias** [ES/ES]; C/ Gómez de Avellaneda 31, 1º B, E-28017 Madrid (ES).

(74) Mandatario: **CAPITÁN GARCÍA, Nuria**; Felipe IV no. 10, E-28014 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: INTELLIGENT DEVICE AND METHOD FOR COMPENSATING FOR RAM SAG IN MACHINE TOOLS

(54) Título : DISPOSITIVO INTELIGENTE Y PROCEDIMIENTO PARA LA COMPENSACIÓN DE CAÍDAS DE CARNERO EN MÁQUINAS HERRAMIENTA

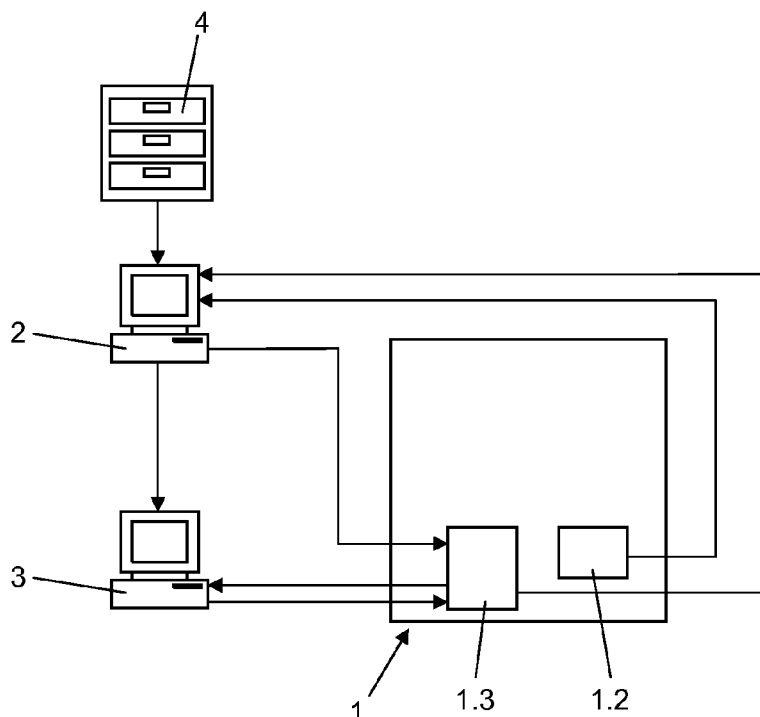


FIG.3

(57) Abstract: The present invention consists of an intelligent device and the method using said device in order to compensate for ram sag by using probabilistic calculation, specifically by means of Bayesian networks, and internal model control, specifically an adaptive neuro-fuzzy control device.

(57) Resumen: La presente invención consiste en un dispositivo inteligente y el procedimiento usando dicho dispositivo para compensar las caídas de carnero mediante el uso de cálculo probabilístico, en concreto mediante redes bayesianas, y un control por modelo interno, en concreto un dispositivo de control adaptativo neuro-borroso.



ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

- 1 -

DISPOSITIVO INTELIGENTE Y PROCEDIMIENTO PARA LA
COMPENSACIÓN DE CAÍDAS DE CARNERO EN MÁQUINAS
HERRAMIENTA

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se engloba en el campo de las máquinas herramienta y de manera concreta en las que constan de un carnero, como las fresadoras.

Dicha invención es un dispositivo inteligente y el procedimiento usando dicho dispositivo para compensar las caídas de carnero mediante el uso de cálculo probabilístico, en concreto mediante redes bayesianas, y un control por modelo interno, en concreto un dispositivo de control adaptativo neuro-borroso.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los carneros en máquinas-herramientas, en especial fresadoras, con carnero horizontal, lo que se conoce como máquinas en configuración de columna, sufren, por definición, de un error geométrico en el eje (normalmente el eje Y) definido por este elemento estructural. Este error se debe a la flexión del carnero debida a su peso y al peso del cabezal de la máquina-herramienta, en especial de fresado, que incorporan.

A lo largo de este documento los ejes de la máquina herramienta son considerados como sigue: eje X, es el eje longitudinal de la bancada; eje Y, es el eje longitudinal de la columna; eje Z, es el eje longitudinal del carnero.

- 2 -

Este problema se agudiza en la actualidad debido a la proliferación de máquinas herramientas que incorporen más de un cabezal gracias a un sistema de cambio automático de cabezales. Cada cabezal tiene un peso distinto y por lo tanto la flexión que se produce es distinta.

El método tradicional para evitar esta flexión, que se conoce como "compensación electrónica", se programa en el Control Numérico por Computador (CNC) de la máquina fresadora una tabla de compensación del eje Y de la máquina que compense esta caída del carnero. El problema de esta solución es que no permite recuperar la pérdida de ortogonalidad entre los ejes generada por esta caída. Así, para cabezales mecánicos para desbaste de fresadoras con los que se utilizan grandes fresas de plaquitas, esta desviación en operaciones de planeado puede producir escalones entre cada planeado consecutivo de hasta 0,5 mm.

Para resolver este problema, en la actualidad algunos fabricantes de máquinas herramientas cuando realizan el mecanizado final de los carneros introducen en los mismos unos tensores en su interior que simulen el peso del cabezal. Al desatornillar estos tensores tras su fabricación el carnero presenta una curvatura en su eje longitudinal que compensa su posterior caída. Esta solución sólo es válida si la máquina herramienta incorpora un único cabezal. Si la máquina incorpora varios cabezales de distinto peso se suele hacer esta compensación para el más pesado o para aquel que se supone que va a ser más utilizado, según el propio criterio del cliente. Para compensar el resto de los cabezales se utiliza la compensación electrónica anteriormente descrita o se introducen tensores fijos en el

- 3 -

carnero a los que se les programa distinta tensión según el cabezal que incorpore la máquina en cada momento.

A este problema tradicional se añade el importante desarrollo en los últimos años de sistemas activos de compensación de vibraciones para máquinas herramientas, en especial fresadoras, que se deben incorporar lo más cerca posible de la herramienta, esto es, en el carnero de la máquina herramienta. Estos sistemas se deben colocar en la superficie superior/inferior del carnero para compensar las vibraciones en los ejes X y/o Z de la máquina y en las superficies laterales del carnero para compensar las vibraciones en el eje Y de la máquina. Por lo tanto, introducen nuevos pesos y modificaciones locales de la rigidez que deben de ser compensadas. Además, dependiendo de la utilización que se vaya a dar de la máquina herramienta, el rango de fuerzas que el sistema activo de compensación de vibraciones debe compensar será distinto, por lo que su peso, tamaño de superficie de amarre y localización también será distinto.

El método más lógico para compensar estas modificaciones es realizar un Modelado por Elementos Finitos (FEM) del carnero que permita estimar su rigidez y calcular la tensión de los tensores que se acoplan durante el mecanizado del carnero. Pero, realizar un estudio de esta naturaleza para cada carnero de máquina herramienta a fabricar es demasiado costoso económicamente en el caso de grandes máquinas herramienta que incorporan una alta personalización en dimensiones, cabezales y optimización a procesos específicos, en especial en el caso de fresadoras.

Es por ello que el desarrollo de un dispositivo

- 4 -

y el correspondiente procedimiento que pueda realizar una estimación suficiente de la tensión a aplicar a los sensores que se acoplan durante el mecanizado del carnero de forma automática se convierte en una aplicación de interés industrial.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención queda establecida y caracterizada en las reivindicaciones independientes, mientras que las reivindicaciones dependientes describen otras características de la misma.

A la vista de lo anteriormente enunciado, la presente invención se refiere a un dispositivo inteligente para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta que comprende los siguientes elementos: una máquina herramienta con su Control Numérico por Computador (CNC), medios para la aplicación de cálculo probabilístico y medios para control por modelo interno.

Asimismo, la presente invención se refiere a un procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta que utiliza un dispositivo inteligente según la reivindicación 1 que comprende las siguientes etapas:

- arranque del dispositivo por parte del CNC,
- adquisición de valores para las variables a utilizar,
- utilización de cálculo probabilístico para estimar la tensión de los cilindros compensadores utilizando los valores de las variables por parte de los medios para la aplicación de cálculo probabilístico,
- elección de la tensión de los cilindros compensadores,

- 5 -

- modificación del programa de mecanizado por parte de los medios para control por modelo interno que implementa un control por modelo interno (IMC),
- implementación de las condiciones reales de mecanizado por parte del CNC.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Se complementa la presente memoria descriptiva, con un juego de figuras, ilustrativas del ejemplo preferente, y nunca limitativas de la invención.

La figura 1 representa una perspectiva de una máquina herramienta.

La figura 2 representa la estructura de una red Bayesiana aumentada a árbol de las variables.

La figura 3 representa un esquema del dispositivo inteligente mostrando los caminos de intercambio de información entre los elementos que forman dicho dispositivo.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En la presente realización de la invención se describe un dispositivo inteligente y el procedimiento que lleva a cabo el mismo mediante un sistema de cálculo que permite alcanzar la compensación óptima de la caída del carnero (1.1). Dichos sistema de cálculo se basa en un sistema distribuido de predicción y cálculo de tensión de cilindros compensadores y de control del mecáni-

- 6 -

zado.

Los elementos que forman el dispositivo inteligente son:

- Máquina herramienta con su Control Numérico por Computador (CNC) (1), en concreto fresadora, que mecaniza el carnero (1.1).

- Medios para la aplicación de cálculo probabilístico (2), en concreto una estación de trabajo con aplicación de Redes Bayesianas.

- Medios para control por modelo interno (3), en concreto un dispositivo de control adaptativo neuroborroso.

- Medio de red para la comunicación entre los elementos que forman el dispositivo inteligente.

La máquina herramienta, en concreto fresadora, es la encargada de realizar el fresado final o acabado de la superficie exterior del carnero (1.1) que se incorporará a otras fresadoras. Sobre esta superficie exterior se apoyarán tanto el sistema de guiado del carnero (1.1) como su accionamiento, por lo que esta superficie determina la geometría final de la nueva fresadora, en concreto del movimiento del eje Z en máquinas de columna.

El CNC (1.3) es el encargado de poner en marcha el dispositivo inteligente mediante una tecla virtual programada en el controlador lógico programable (PLC, siglas de la denominación en inglés "Programmable Logic Controller") (1.2) de la máquina. Esta tecla virtual debe ser pulsada por el operario cuando un carnero (1.1) se halle colocado para su mecanizado final sobre esta máquina. Entonces la tecla virtual envía a la estación de trabajo (2) el programa de mecanizado del que se

- 7 -

extraen los valores de parte de las variables que precisa para el cálculo de la tensión de los cilindros compensadores y arranca así el dispositivo inteligente aquí expuesto.

Además, el CNC (1.3) es el encargado de, durante el mecanizado del carnero (1.1), modificar en tiempo real las condiciones de mecanizado según la variación propuesta por el dispositivo de control adaptativo neuro-borroso (3).

Esta modificación en tiempo real de las condiciones de mecanizado por parte del CNC (1.3) es posible ya que éste es el encargado de controlar que la herramienta sigue la trayectoria programada en el programa de mecanizado utilizando las señales de los sensores internos de posición y otros de los que dispone la máquina; además junto al CNC (1.3) la fresadora dispone de un autómatas programable o controlador lógico programable (PLC) (1.2) cuya programación es más accesible que la del CNC (1.3), habitualmente cerrada o restringida por su fabricante.

Tras el arranque del dispositivo inteligente el CNC (1.3) recibe de la estación de trabajo (2) la tensión (TCC) que el operario debe de aplicar a los cilindros compensadores antes del mecanizado y se la muestra al operario en su pantalla. Si la estación de trabajo (2) no puede discernir la tensión apropiada, el CNC (1.3) muestra al operario las probabilidades para cada clase de TCC para que sea éste el que tome la decisión de la tensión a aplicar.

La estación de trabajo (2) con aplicación de Redes Bayesianas proporciona el valor de la tensión a

- 8 -

aplicar a los cilindros compensadores (TCC) en función de variables conocidas. Este valor de TCC permite indirectamente obtener la curvatura apropiada del carnero (1.1) a mecanizar, ya que al quitar los cilindros compensadores después del mecanizado, habiendo aplicado previamente la tensión apropiada, el carnero (1.1) se curva sólo.

La predicción de TCC se lleva a cabo a partir del valor de 9 variables que denominamos variables predictoras. El valor de las variables predictoras lo obtiene la aplicación tanto del programa de mecanizado del carnero (1.1) incluido en el CNC (1.3) de la máquina como de la Base de datos (4) de Pedidos de la Empresa.

Estas variables predictoras son:

- Longitud máxima del carnero (1.1) en su posición más exterior (LMC).
- Peso crítico del cabezal o cabezal a compensar (PCC).
- Dimensiones del amortiguador activo (DAA).
- Fuerzas a aplicar por el/los amortiguador/es activo/s (FAA).
- Peso del amortiguador activo (PAA).
- Existencia o no de cilindros interiores fijos de compensación de la caída para cabezales secundarios (CIF).
- Valor de tensión de cilindros interiores fijos de compensación (TCIF).
- Espesor de las chapas que conforman las paredes del carnero (1.1) (ECC).
- Posición de amarre del amortiguador activo (PAAA).

La ecuación, que define al valor de TCC tiene la

- 9 -

siguiente forma: $TCC=f(\text{variables predictoras})$

La estructura de red se construye sobre las 9 variables predictoras obtenidas antes de comenzar el proceso de mecanizado y una décima variable, la TCC, denominada como la variable clase. Las 9 variables utilizadas en la red son características del proceso de fabricación, del diseño del carnero (1.1) y de las condiciones de funcionamiento posterior del carnero (1.1) a mecanizar.

Para generar datos para el entrenamiento de la red se ha utilizado el Método de Elementos Finitos (FEM, siglas de la denominación en inglés "Finite Element Method").

Dado que la variable TCC es continua por definición, mientras que las variables en una Red Bayesiana deben de tener un número discreto de estados, esta variable se discretiza de acuerdo con la tabla de valores adjunta aquí debajo.

Etiqueta del estado	Límite inferior (N)	Límite superior (N)
Tensión baja	0	15.000
Tensión media	15.000	25.000
Tensión media-alta	25.000	32.500
Tensión alta	32.500	40.000

A la red Bayesiana se le aplica una corrección de Laplace para de este modo asignar una proporción de participación a los casos que no estén presentes en el momento del entrenamiento pero que sí pueden aparecer en el futuro.

- 10 -

Para describir el procedimiento de generación de la red Bayesiana utilizaremos la terminología y notación siguiente:

Evento o estado de naturaleza i (x_i) : es una situación en el futuro sobre la que se desea conocer cierta información.

Probabilidad a priori de un estado x ($p(x_i)$): probabilidad de que un estado de naturaleza i ocurra a partir de la información inicial, es decir sin ninguna evidencia.

Estudio o información de la muestra: normalmente es la información extra que se puede conseguir tras la realización de un estudio o prueba. Los resultados de un estudio o muestra pueden ser representados por indicadores diferentes. El conjunto de hallazgos se denomina evidencia y suele notarse como e .

Probabilidad condicional de x_i dado e ($p(x_i|e)$): Es la probabilidad cuando un evento A influye en el resultado de un segundo evento B .

Probabilidad Aposteriori de x_i dado e ($p(x_i|e)$): Es la probabilidad de un evento después de que éste se haya producido. Si $P(x_i|e)$ representa la probabilidad aposteriori, entonces $P(x_i|e) = P(e, x_i) / P(e)$.

En el método Naïve Bayes, la probabilidad que un k -ésimo ejemplo pertenezca a la clase i -ésima de la variable x_i se calcula según la siguiente ecuación:

$$p(x_i | x_1, \dots, x_k) = \alpha p(x_i) \prod_{j=1}^k p(x_j | x_i)$$

Para la generación de la estructura Naïve Bayes aumentada a árbol se ha utilizado el algoritmo denominado en inglés "Tree Augmented Network" (TAN) propuesto por Friedman. En dicho algoritmo se tiene en cuenta la cantidad de información mutua condicionada a la variable

- 11 -

clase. La cantidad de información mutua entre las variables discretas X e Y condicionada a la variable C se define en la siguiente ecuación:

$$I_p(X, Y | C) = \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{r=1} p(x_i, y_j, c_r) \log \frac{p(x_i, y_j, c_r)}{p(x_i | c_r) p(y_j | c_r)}$$

Para aplicarlo se han seguido los siguientes pasos:

Paso 1. Calcular $I(X_i, X_j | C)$ con $i < j$; $i, j = 1, \dots, n$.

Paso 2. Construir un grafo no dirigido completo cuyos nodos corresponden a las variables predictoras: $X_1, \dots, X_n$. Asignar a cada arista conectando las variables X_i y X_j un peso dado por $I(X_i, X_j | C)$.

Paso 3. Asignar las dos aristas de mayor peso al árbol a construir.

Paso 4. Examinar la siguiente arista de mayor peso, y añadirla al árbol a no ser que forme un ciclo, en cuyo caso se descarta y se examina la siguiente arista de mayor peso. Repetir el paso 4 hasta seleccionar $n-1$ aristas.

Paso 5. Transformar el árbol no dirigido resultante en uno dirigido, escogiendo una variable como raíz, para a continuación direccionar el resto de aristas.

Paso 6. Construir un modelo TAN añadiendo un nodo etiquetado como C y posteriormente un arco desde C a cada variable predictora X_i .

La estructura TAN obtenida para el problema propuesto se ilustra en la Figura 2.

Para la validación de la Red Bayesiana se usó el método de validación cruzada o K-fold cross-validation, según su denominación inglesa, y un fichero con datos

- 12 -

experimentales. En el método de validación cruzada el conjunto de datos inicial se divide en K subconjuntos, de los K subconjuntos un solo subconjunto se guarda como datos de validación para probar el modelo, y los otros K-1 subconjuntos son usados como datos de entrenamiento. El proceso se repite K veces, particiones, donde cada uno de los K subconjuntos se usa exactamente una vez como datos de validación. Los resultados de las particiones se promedian, o se combinan de otra manera, para producir un solo estimador de la exactitud del clasificador, se tomó K=10.

La salida del modelo después de la validación es una tabla de contingencia o matriz de confusión, donde se resumen los resultados de datos bien y mal clasificados por cada estado de la clase y un valor general de precisión que indica el porcentaje de acierto con que el modelo clasificará los nuevos datos presentados a la red. Tras la validación, la aplicación está lista para su uso, se pueden hacer preguntas a la red Bayesiana sobre distintos tipos de cuestiones para encontrar la probabilidad a posteriori de las distintas respuestas posibles.

En nuestro caso, el tipo de pregunta es el razonamiento predictivo o inferencia causal donde se busca la predicción de efectos. Se pregunta a la red Bayesiana "¿Cuál es la probabilidad de cada estado de la clase TCC dados ciertos requisitos de fabricación?" Los requisitos de fabricación serán las variables LMC, PCC, DAA, FAA, PAA, CIF, TCIF, ECC y PAAA ya definidas anteriormente.

En un caso concreto se preguntaría a la red Bayesiana por la probabilidad de TCC según los siguientes valores: $P(TCC|LMC=1, PCC=500, DAA=150, FAA=300, PAA=40,$

- 13 -

CIF=0, TCIF=0, ECC=15 y PAAA=250). Propagando esta evidencia, la red calcula las siguientes probabilidades de TCC, expresadas aquí en tanto por uno: tensión baja 0,02; tensión media 0,89; tensión medio-alta 0,09 y tensión alta 0,00. Con estos requisitos los estados de la clase con probabilidades más altas identifican la mejor tensión a aplicar que se corresponde con la tensión media ya que su probabilidad es del 89%. Este razonamiento es correcto dado que se corresponde con valores obtenidos en las pruebas experimentales.

Si uno de los estados de TCC es predominante, probabilidad mayor de 80%, se transfiere al CNC (1.3) de la máquina, si no lo es, se advierte de las probabilidades para cada estado de la clase de TCC al operario para que analice la situación.

El dispositivo de control adaptativo neuroborroso (3) es el dispositivo que recibe del CNC (1.3) información de los sensores internos de la máquina o, adicionalmente, de sensores externos instalados en ella. Además, monitoriza y modifica variables del CNC (1.3) relacionadas con la ejecución del programa pieza tales como la velocidad de avance y la velocidad de giro con el fin de optimizar el tiempo de mecanizado y minimizar el error debido a la flexión del carnero (1.1).

Este dispositivo de control adaptativo se trata de un ordenador o de un sistema embebido de control conectado al CNC (1.3), en el ejemplo concreto aquí propuesto por un medio de red, que le envía al CNC (1.3) el programa pieza que se desea ejecutar. Además, este dispositivo recibe información de los sensores incluidos en la máquina herramienta con su CNC (1) por el medio de red.

- 14 -

Este dispositivo implementa un control por modelo interno (IMC, siglas de la denominación en inglés "Internal Model Control") basado en controladores neuro-borrosos para, a partir de la tensión que se debe aplicar a los cilindros compensadores y a las condiciones del mecanizado en tiempo real, modificar la velocidad de avance o de giro de la fresadora que mecaniza el carnero (1.1), es decir, modificar las condiciones de mecanizado previstas en el programa de mecanizado, enviando las nuevas condiciones al CNC para su implementación.

El controlador se basa en lógica borrosa e incorpora un módulo anticipativo basado en redes neuronales (controlador neuro-borroso). De acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, los parámetros que definen los controladores neuro-borrosos se determinan de forma que se minimice un índice de mérito.

La lógica borrosa se basa en conjuntos borrosos, a cuyos elementos se asocia una función de pertenencia que indica en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto borroso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidal, triangular y gaussiana. Es decir, la lógica borrosa se basa en reglas heurísticas de la forma SI (antecedente) ENTONCES (consecuente), donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos borrosos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Las reglas que determinan la pertenencia de los elementos a los conjuntos borrosos se basa, en el caso del carnero (1.1), en la experiencia del diseñador y en información proporcionada por las redes bayesianas.

El medio de red es el encargado de unir los tres

- 15 -

elementos anteriormente descritos permitiendo la comunicación entre los mismos y minimizando los tiempos de retardo en las comunicaciones entre ellos.

Dicho medio de red puede ser un bus de campo, perteneciente a la familia Profibus, u otros dependiendo del tipo de red: mpi, ethernet, internet, etc. En cualquier caso, el medio de red se caracteriza por el retardo máximo que introduce en la transmisión de señales de monitorización y control entre el CNC (1.3) y el medio de control, que se denominará $L_{\text{medio red}}$. El retardo global máximo del proceso de comunicaciones L_{max} será, por tanto, la suma del retardo introducido por el medio de red $L_{\text{medio red}}$ y el retardo debido al tiempo muerto del proceso L_{carnero} , es decir, $L_{\text{max}} = L_{\text{carnero}} + L$. Este retardo, en realizaciones preferidas de la invención, es menor de 60 segundos.

Un uso preferente del medio de red para el cálculo probabilístico permite que varios elementos trabajen a la vez para la ejecución de dicho cálculo, de forma que se minimiza el tiempo de cálculo.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo inteligente para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta que comprende los siguientes elementos: una máquina herramienta con su CNC (1), medios para la aplicación de cálculo probabilístico (2) y medios para control por modelo interno (3).

2. Dispositivo inteligente para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 1 caracterizado porque la comunicación entre los elementos que forman el dispositivo es a través de un medio de red.

3. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta que utiliza un dispositivo inteligente según la reivindicación 1 que comprende las siguientes etapas:

- arranque del dispositivo por parte del CNC (1.3),
- adquisición de valores para las variables a utilizar,
- utilización de cálculo probabilístico para estimar la tensión de los cilindros compensadores utilizando los valores de las variables por parte de los medios para la aplicación de cálculo probabilístico (2),
- elección de la tensión de los cilindros compensadores,
- modificación de las condiciones de mecanizado previstas en el programa de mecanizado por parte de los medios para control por modelo interno (3) que implementa un control adaptativo neuro-borroso,
- implementación de las nuevas condiciones de mecanizado por parte del CNC (1.3).

4. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 1.

- 17 -

ción 3 caracterizado porque el arranque del dispositivo por parte del CNC (1.3) se hace mediante una tecla virtual del controlador lógico programable (1.2).

5.Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 3 caracterizado porque los valores de las variables se adquieren del programa de mecanizado y de una base de datos (4).

6.Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 3 caracterizado porque las variables a utilizar son una selección de entre las siguientes: longitud máxima del carnero en su posición más exterior, LMC; peso del cabezal crítico o cabezal a compensar, PCC; dimensiones amortiguador activo, DAA; fuerzas a aplicar por el/los amortiguador/es activo/s, FAA; peso del amortiguador activo, PAA; existencia de cilindros interiores fijos de compensación de la caída para cabezales secundarios, CIF; valor de tensión de cilindros interiores fijos de compensación, TCIF; espesor de las chapas que conforman las paredes del carnero, ECC; posición de amarre del amortiguador activo, PAAA.

7.Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 3 caracterizado porque para el cálculo probabilístico se utiliza una red de Naive Bayes.

8.Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 7 caracterizado porque la red de Naive Bayes se ha entrenado utilizando el método de elementos finitos.

- 18 -

9. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 7 caracterizado porque la red de Naive Bayes se aumenta a árbol utilizando el algoritmo de Friedman.

10. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 9 caracterizado porque la red aumentada a árbol se corrige utilizando la corrección de Laplace.

11. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 7 caracterizado porque la red de Naive Bayes se valida utilizando el método de validación cruzada y datos experimentales.

12. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 3 caracterizado porque la elección de la tensión de los cilindros compensadores la lleva a cabo el dispositivo si la probabilidad es mayor del 80% y la lleva a cabo el operario si es igual o menor al 80%.

13. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 7 caracterizado porque el valor de la tensión de los cilindros compensadores es discreto.

14. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 3 caracterizado porque el dispositivo de control adaptativo neuro-borroso modifica las condiciones de mecanizado en tiempo real para adaptar las velocidades de avance y giro del cabezal.

- 19 -

15. Procedimiento para la compensación de caídas de carnero en máquinas herramienta según la reivindicación 3 caracterizado porque se utiliza el medio de red para el cálculo probabilístico de manera que varios elementos trabajan a la vez para la ejecución de dicho cálculo.

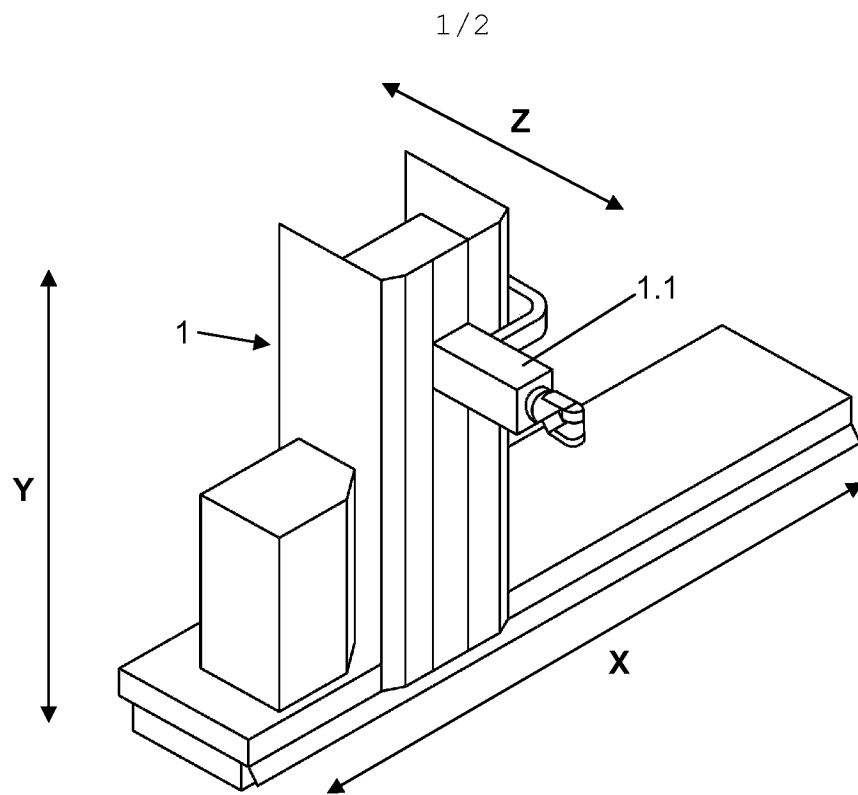


FIG.1

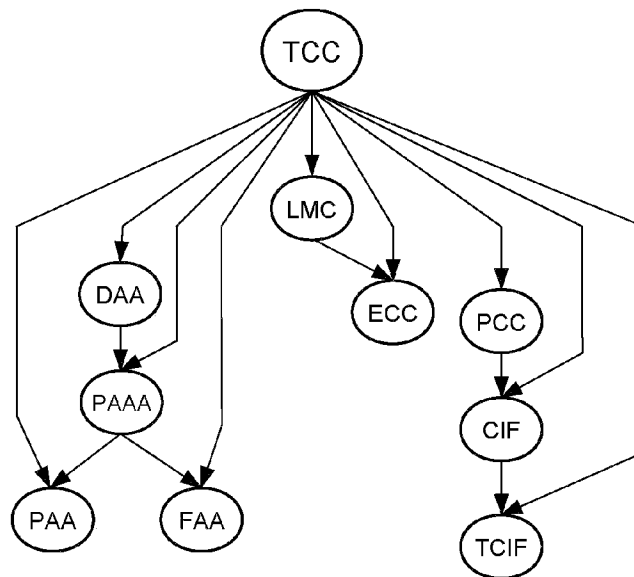


FIG.2

2/2

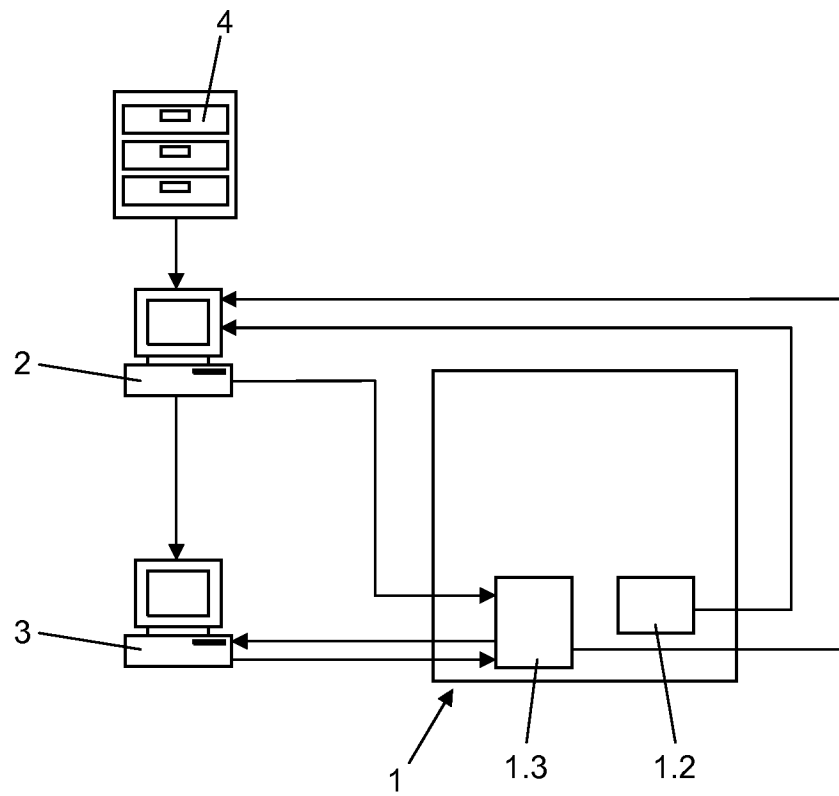


FIG.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ ES 2009/070453

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

INVENES,EPODOC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1659468 A2 (ROCKWELL AUTOMATION TECH INC) 24.05.2006, column 7, lines 53-57; column 18, paragraph 0071.	1-2
A	WO 2009109673 A1 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION ; HABER GUERRA RODOLFO ;) 11.09.2009, the whole document.	1-2
A	US 2003187624 A1 (BALIC et al.) 02.10.2003, the whole document.	1-2
A	US 5214592 A (SERIZAWA et al.) 25.05.1993, the whole document.	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 July 2010 (05.07.2010)

Date of mailing of the international search report

(15.07.2010)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

A. Gómez Sánchez

Telephone No. +34 91 349 53 26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2009/070453

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1659468 A	24.05.2006	EP 20050024997	15.11.2005 15.11.2005 15.11.2005
----- WO 2009109673 A	----- 11.09.2009	----- NONE	----- -----
----- US 2003187624 A	----- 02.10.2003	----- SI 21200 A US 2005251284 A US 7117056 B	----- 31.10.2003 10.11.2005 03.10.2006
----- US 5214592 A	----- 25.05.1993	----- JP 3062754 U JP 7015715 Y	----- 19.06.1991 12.04.1995 12.04.1995
-----	-----	-----	-----

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2009/070453

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 19/404 (2006.01)

B23Q 11/00 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ ES 2009/070453

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	EP 1659468 A2 (ROCKWELL AUTOMATION TECH INC) 24.05.2006, columna 7, líneas 53-57; columna 18, párrafo 0071.	1-2
A	WO 2009109673 A1 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION ; HABER GUERRA RODOLFO ;) 11.09.2009, todo el documento.	1-2
A	US 2003187624 A1 (BALIC et al.) 02.10.2003, todo el documento.	1-2
A	US 5214592 A (SERIZAWA et al.) 25.05.1993, todo el documento.	

☐ En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

05 Julio 2010 (05.07.2010)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

15 JULIO 2010 (15.07.2010)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.

N° de fax 34 91 3495304

Funcionario autorizado

A. Gómez Sánchez

N° de teléfono +34 91 349 53 26

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2009/070453

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
EP 1659468 A	24.05.2006	EP 20050024997	15.11.2005 15.11.2005 15.11.2005
-----	-----	-----	-----
WO 2009109673 A	11.09.2009	NINGUNO	-----
-----	-----	-----	-----
US 2003187624 A	02.10.2003	SI 21200 A US 2005251284 A US 7117056 B	31.10.2003 10.11.2005 03.10.2006
-----	-----	-----	-----
US 5214592 A	25.05.1993	JP 3062754 U JP 7015715 Y	19.06.1991 12.04.1995 12.04.1995
-----	-----	-----	-----

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G05B 19/404 (2006.01)

B23Q 11/00 (2006.01)