

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 748**

51 Int. Cl.:

G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.05.2014 PCT/DK2014/000028**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.12.2014 WO14190993**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2014 E 14728820 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 3004997**

54 Título: **Método de control de proceso**

30 Prioridad:

28.05.2013 DK 201300323

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

03.03.2020

73 Titular/es:

**CORE A/S (100.0%)
Marielundvej 48, 1.
2730 Herlev, DK**

72 Inventor/es:

ALSTRØM, PREBEN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 745 748 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 de control de proceso

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al área del control de procesos. Más particularmente, la invención está relacionada con el área de control de procesos donde un producto o componentes de producto permanece bajo ciertas condiciones del proceso durante un tiempo relativamente largo para obtener un producto final deseado.

Antecedentes de la invención

10 Se han publicado numerosos libros y artículos en el área del control de procesos. La mayoría de las metodologías conocidas en el área del control de procesos consisten en modelos que reciben entradas del proceso que están controlando y, basándose en esas entradas, calculan unas salidas que regulan los parámetros relevantes del proceso.

15 En un proceso para producir un producto, por ejemplo un producto alimenticio, los parámetros de proceso según los cuales se controla el proceso tendrán un impacto significativo en la composición del producto final. Para un fabricante de un producto esto puede significar que la ganancia varía enormemente con el producto final y por tanto el control del proceso de una manera tan cercana al proceso óptimo como sea posible tiene una importancia significativa. En el peor de los casos el producto, cuando la variación con relación al estado deseado del producto final es significativa, el producto puede tener que ser desechado, lo que puede implicar una pérdida significativa para el fabricante.

Para gestionar el control del proceso de una manera más predecible se han realizado varios intentos en los que se han combinado diferentes modelos y estrategias de control.

20 Del documento US 7856281 es conocido un controlador de proceso que, basado en entradas de proceso genera salidas y comprende un modelo, que puede ser no lineal, que genera señales de predicción para las salidas. Además, puede proporcionarse una unidad de corrección para corregir un vector de predicción para compensar las no linealidades del proceso.

25 Del documento US 7317953 es conocido un controlador de proceso que tiene un modelo de proceso multivariable caracterizado como un conjunto de dos o más modelos SISO. El sistema de adaptación detecta cambios en las entradas del proceso y puede iniciar un ciclo de adaptación, donde el sistema de adaptación determina un subconjunto de modelos SISO que deben ser adaptados. Después de la adaptación, se verifica la adaptación determinando si el proceso multivariable adaptado tiene un error de modelado menor que el modelo actual, y si el error es menor se usa el modelo adaptado.

30 El documento WO 2011/014350 A1 se refiere a sistemas de control de procesos y, más particularmente, a controladores de proceso predictivos adaptativos basados en modelos, auto-configurados y en línea para sistemas multi-zona, capaces de regular temperatura, humedad, presión, flujos, y similares, que pueden usarse en varias aplicaciones de control de procesos en la industria. La invención de WO 2011/014350 A1 comprende determinar parámetros de sistema de cada zona controlada (por ejemplo, una zona de temperatura) y la correlación entre estos parámetros continuamente durante las fases de calentamiento y enfriamiento, y mediante el uso de la información adquirida mantener las temperaturas en su punto de ajuste en cada zona del sistema con control de temperatura. El documento GB 2355545 describe un método para controlar un sistema usando un modelo de control predictivo.

35 Aunque estos controles de proceso conocidos con anterioridad proporcionan algunas mejoras en cuanto a la predictibilidad del proceso, las diferencias significativas que pueden producirse con relación al material de entrada alimentado al proceso todavía pueden provocar que los parámetros del proceso se desvíen de lo deseado y por tanto también que el producto final se aleje del estado deseado.

40 Por tanto, sería ventajoso un método mejorado, y en particular sería ventajoso un control de proceso más eficiente y/o fiable.

Compendio de la invención

45 En consecuencia, la invención preferentemente trata de mitigar, aliviar o eliminar una o más de las desventajas anteriormente mencionadas, de manera individual o en cualquier combinación.

El objeto de la presente invención puede conseguirse mediante un método que tiene las características definidas en la reivindicación 1, mediante un sistema de control como el definido en la reivindicación 10 y mediante un aparato de producción como el definido en la reivindicación 11. Se definen realizaciones preferidas en las reivindicaciones dependientes y se explican en la siguiente descripción y se ilustran en los dibujos adjuntos.

50 En particular, puede verse como un objeto de la presente invención el proporcionar un método para el control de procesos que, mediante la solución de uno o más de los inconvenientes anteriores, proporcione una mejora con relación a la salida del proceso.

Este objeto y varios otros objetos se consiguen en un primer aspecto de la invención proporcionando un método para controlar un proceso, comprendiendo el método un modelo de control adaptativo y al menos una entrada de proceso y al menos una salida de proceso, comprendiendo el modelo de control:

- predecir los objetivos relevantes en el proceso,

5 caracterizado por que

- los impulsores relevantes del proceso se seleccionan basándose en dicha predicción de objetivo.

En una realización, el método comprende adaptar varios parámetros basándose en una o más entradas, y utilizar los parámetros adaptados como entrada para la predicción de objetivo.

10 En una realización, el método comprende medir un parámetro fuera de línea y proporcionar la medida del parámetro fuera de línea como una entrada para la selección de parámetros.

Preferiblemente, el método comprende una unidad de preprocesamiento para preparar las señales de entrada para el proceso de adaptación.

Preferiblemente, el método comprende variables de entrada manipuladas, variables de salida dependientes, y variables de entrada no manipuladas y/o objetivo de rendimiento y medidas.

15 Ventajosamente, el método comprende adaptación de parámetro no lineal, predicción de objetivo, ajuste de objetivo, ajuste de impulsor y selección de impulsor como entrada para el proceso a controlar.

Ventajosamente, las variables de entrada manipuladas y las variables de salida dependientes se utilizan para la adaptación de parámetros no lineal y además para la predicción de objetivos junto con la salida de la adaptación de parámetros no lineal.

20 Preferiblemente, las variables de entrada no manipuladas y la meta de rendimiento y medidas se utilizan para el ajuste de objetivo.

Preferiblemente, el método comprende medir un parámetro fuera de línea y proporcionar la medida del parámetro fuera de línea como una entrada para el ajuste de objetivo.

Preferiblemente, la predicción de objetivo y el ajuste de objetivo se usan para el ajuste de impulsor.

25 La invención es particularmente, aunque no exclusivamente, ventajosa para obtener un resultado más predecible del proceso que se controla.

En otro aspecto de la invención se prevé un sistema de control que está adaptado para llevar a cabo el método de acuerdo con la presente invención con relación a un aparato de producción.

30 En todavía otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato de producción que comprende un sistema de control que ejerce un método de acuerdo con la presente invención.

Preferiblemente, el aparato de producción comprende dispositivos de medida para medir datos manipulados en el proceso, así como datos no manipulados en y/o alrededor del proceso y donde los datos se alimentan al sistema de control.

35 En el texto anterior se ha utilizado diversa terminología relativa al sistema de control genérico. Se proporciona la siguiente explicación para clarificar la terminología, aunque al mismo tiempo no se debe interpretar como limitante del alcance de la invención.

Impulsores: Entrada (por ejemplo, la velocidad de un tornillo transportador o la apertura de una válvula), que puede ajustarse (manipularse) y que afecta a los valores objetivo. El proceso no siempre suministra datos acerca de los impulsores.

40 Objetivos: Salidas, que se miden, y que se utilizan como objetivos que se controlan cerca de un punto de ajuste por medio de impulsores.

Otra entrada (no ajustable): Medidas, que no son objetivos, pero que pueden usarse para ajustar objetivos (puntos de ajuste). Pueden ser medidas tanto en línea como fuera de línea. Por medidas fuera de línea se quiere decir, por ejemplo, medidas de laboratorio que solo se llevan a cabo con una frecuencia baja, por ejemplo cada hora. Entre éstas están frecuentemente las medidas de calidad (medidas de rendimiento), que son los objetivos principales de la optimización.

45

El primer y segundo aspectos de la presente invención pueden combinarse cada uno con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes y claros haciendo referencia a las realizaciones que se describen en adelante en este documento.

Descripción de los dibujos

La presente invención se explicará ahora, únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a las figuras adjuntas, donde

la figura 1 es un diagrama de flujo de un método de acuerdo con la invención; y

- 5 la figura 2 es una representación esquemática de las medidas de entrada.

Descripción detallada de una realización

Descripción de un control de proceso adaptativo con referencia a la figura 1.

Datos de proceso

Los datos de proceso se subdividen de la siguiente manera:

- 10 Variables de entrada manipuladas: Son las variables de proceso que pueden ser directamente alteradas por el control (Impulsores).

Variables de salida dependientes: Son las variables de proceso que no pueden alterarse directamente (Objetivos). Se sabe que estas variables de proceso están correlacionadas con la medida de rendimiento.

- 15 Variables de entrada no manipuladas: Son las variables de entrada que se sabe tienen influencia en el rendimiento, pero que no se pueden controlar.

Meta y medida de rendimiento: La meta de rendimiento es el valor de rendimiento deseado del proceso. En general, esta variable no puede medirse en línea, es decir, de manera continua, en lugar de ello se mide fuera de línea, es decir, se muestrea periódicamente (la medida de rendimiento).

- 20 Otras variables: El proceso puede contener otras variables de entrada o salida que se omiten del modelo y el control (no mostradas en las figuras).

Pre-procesamiento

El módulo de pre-procesamiento lleva a cabo un filtrado de las señales de datos de proceso. Esto se realiza generalmente para eliminar fluctuaciones de alta frecuencia (ruido) en los datos de proceso.

Adaptación de parámetro no lineal

- 25 Este módulo lleva a cabo una adaptación continua en línea de los parámetros de proceso que se utilizan en el módulo de predictor objetivo. En el modelo de respuesta, los parámetros son las amplitudes de respuesta y escala temporal. Los parámetros de amplitud se adaptan basándose en valores medios. Se lleva a cabo una adaptación no lineal de las escalas de tiempo usando correlaciones. La adaptación de parámetro es ventajosa como un medio para mantener un buen modelo de sistema cuando las condiciones del proceso cambian significativamente durante el funcionamiento.

- 30 Predictor de objetivo

El módulo predictor de objetivo utiliza el modelo del sistema para predecir el efecto de variaciones de impulsores sobre los objetivos. El predictor de objetivo es necesario para establecer una estimada fuerte para la variación futura de los objetivos.

Ajuste de impulsor

- 35 El módulo de ajuste de impulsor utiliza el valor objetivo predicho y el punto de ajuste del objetivo actual para calcular posibles opciones de ajuste para los impulsores. El módulo de ajuste de impulsor es la parte del controlador que dirige los objetivos en dirección a los puntos de ajuste deseados.

Ajuste de objetivo

- 40 Para conseguir el objetivo de rendimiento, el módulo de ajuste de objetivo ajusta los puntos de ajuste del objetivo de acuerdo con cambios en variables no manipuladas y diferencias en rendimiento medido con relación al objetivo de rendimiento. El ajuste de objetivo guía el proceso en dirección a la meta de rendimiento global.

Selección de impulsor

- 45 El módulo de selección de impulsor lleva a cabo una selección de entre los posibles ajustes de impulsor posibles calculados basándose en un esquema de prioridades. La selección de impulsor es industrialmente importante, ya que permite la optimización del proceso global con relación a la capacidad de producción, eficiencia energética o consideraciones similares.

Realización de la invención

Datos de proceso:

5 Variables de entrada manipuladas (impulsores): Por ejemplo, el flujo de alimentación y la energía entrante en un secador de spray (flujo de aire entrante y temperaturas del aire), o la velocidad rotacional diferencial del transportador de decantación.

Variables de salida dependientes (objetivos): Por ejemplo, el aire saliente y las temperaturas del polvo en el secador de spray o el par del transportador en el decantador.

10 Variables de entrada no manipuladas: Por ejemplo, medidas en línea de la humedad del aire exterior y la temperatura del aire que entra en el secador de spray, medidas en línea de señales de vibración del decantador, el contenido de materia seca fuera de línea del material de alimentación en cualquier ejemplo.

Meta y medida de rendimiento: Por ejemplo, humedad residual o contenido de materia seca en cualquier ejemplo. Si y solo si se mide en línea el rendimiento, el círculo de rendimiento 18 es redundante (entonces incluido en el círculo 14).

Preprocesamiento

15 Cada variable de proceso que es parte del modelo de sistema es pre-procesada antes de su uso.

En una realización de la invención, el pre-procesamiento se implementa mediante filtros paso-bajo con un promedio de desplazamiento ponderado exponencialmente:

$$y_i = a_p x_i + (1 - a_p) y_{i-1}$$

donde

20 y_i es la variable de proceso filtrada en el momento i ,

x_i es la variable de proceso en bruto en el momento i , y

a_p es el factor de suavizado, $0 \leq a_p \leq 1$.

Adaptación de parámetro no lineal

25 La adaptación continua de parámetros de sistema se divide en dos partes; parámetros relativos a amplitudes y parámetros relativos a tiempos asociados con la respuesta objetivo a la que conduce un cambio en un impulsor. El método inventivo para la adaptación de parámetros es diferente de cualesquiera otros métodos conocidos y asegura un control de proceso muy estable.

30 Ambos conjuntos de parámetros se calculan para cada par impulsor/objetivo que exista en un despliegue dado del sistema de control. Por tanto, dados por ejemplo 3 impulsores y 2 objetivos, se calcula un total de 6 conjuntos de parámetros de sistema.

Adaptación de amplitud

En una realización de la invención, los parámetros de amplitud de respuesta se ajustan continuamente basándose en valores promedio de impulsor y objetivo.

$$X_{T,D} = R_{T,D}^p \cdot f\left(\frac{\hat{D}}{D_{typ}}, \frac{\hat{T}}{T_{typ}}\right)$$

$$R_{T,D}(t) = R_{T,D}(t - 1) \cdot (1 - a_r) + X_{T,D} \cdot a_r$$

35 En este caso

t es el paso temporal (número entero)

$R_{T,D}(t)$ es la amplitud de respuesta ajustada entre objetivo T e impulsor D.

$R_{T,D}^p$ es la escala de amplitud de respuesta.

$X_{T,D}$ es la amplitud de la respuesta actual entre impulsor D y objetivo T.

40 a_r es el factor de "memoria" de suavizado para ajustes del parámetro de respuesta. $0 \leq a_r \leq 1$.

\dot{D} es la medida (filtrada) del impulsor.

D_{typ} es el valor típico del impulsor durante el funcionamiento normal.

\dot{T} es la medida (filtrada) del objetivo.

T_{typ} es el valor típico del objetivo durante el funcionamiento normal.

- 5 $f(x,y)$ es la función de adaptación de amplitud. La forma de escalado más simple de la adaptación de amplitud utilizada es $f(x,y) = y/x$.

Adaptación de tiempo

En una realización de la invención, el tiempo de respuesta de sistema se estima utilizando una correlación cruzada entre el impulsor y el objetivo.

$$C_{T,D}^i(t) = (\bar{T}_l(t) - \bar{T}_s(t)) \cdot \left(\bar{D}_s \left(t - i \cdot \frac{\tau_{cor}}{\tau_c} \right) - \bar{D}_l(t) \right)$$

$$K_{T,D}^i(t) = (1 - a_s) K_{T,D}^i(t-1) + a_s \cdot C_{T,D}^i(t), \text{ for each } i \in [0, \dots, N].$$

10

Sea $m(t)$ el índice i , donde $K_{T,D}^i(t)$ es mínimo (lo más negativo posible), entonces

$$S_{T,D}(t) = \frac{\varphi}{\tau_{cor}} \cdot m(t)$$

donde

$C_{T,D}^i(t)$ es una medida de la correlación entre objetivo T e impulsor D hace i pasos de tiempo de correlación.

- 15 $\bar{T}_l(t)$ es el valor promedio de escala de tiempo largo del objetivo.

$\bar{T}_s(t)$ es el valor promedio de escala de tiempo corto del objetivo.

$\bar{D}_l(t)$ es el valor promedio de escala de tiempo largo del impulsor.

$\bar{D}_s(t)$ es el valor promedio de escala de tiempo corto del impulsor.

τ_c es la duración entre pasos de control.

- 20 τ_{cor} es la duración entre miembros del vector correlación.

$K_{T,D}^i(t)$ es el vector de todas las i correlaciones cruzadas usadas en la adaptación de parámetro.

a_s es el factor de suavizado para ajustes del vector de correlación cruzada.

N es el número de elementos en el vector de correlación cruzada.

φ es un parámetro de cambio de fase de orden 1.

- 25 $S_{T,D}(t)$ es el tiempo de respuesta ajustado.

Dividir las escalas de tiempo entre tiempo de control y tiempo de correlación de respuesta habilita que las implementaciones de la invención lleven a cabo un simple intercambio (ajustando N) entre un tiempo de respuesta más exacto y requisitos de computación en los lugares en los que éstos están limitados. Sin embargo, se debe siempre asegurar que $N \cdot \tau_{cor}$ es más largo que la escala de tiempo característica más larga esperada del proceso.

- 30 Módulo de respuesta heurística

En otra implementación que requiere aún menos tiempo de computación y almacenamiento, las amplitudes de respuesta y la escala de tiempo se ajustan conjuntamente usando métodos heurísticos. En un caso especial, pueden mantenerse constantes basándose en valores obtenidos mediante análisis del proceso.

- 35 En el caso de la respuesta heurística, $R_{T,D}(t)$ y $S_{T,D}(t)$ se modifican automáticamente en respuesta a variaciones del proceso. Constituyen ejemplos valores de impulsor que se mueven demasiado cerca de los límites operacionales o un objetivo (que se supone que es aproximadamente constante) que cambia más que una cantidad dada. Además, los límites pueden ajustarse dinámicamente en respuesta a un control demasiado agresivo.

ES 2 745 748 T3

La combinación de los cambios de parámetro automáticos y los cambios de límite automáticos hace que el control sea auto-ajustable.

En una implementación, el ajuste se lleva a cabo de acuerdo con la siguiente regla, ejecutada a intervalos más largos que la escala de tiempo característico significativo más largo del proceso:

5 si $(DTLargo > KT * TLargo)$:

$$Rnuevo = KRd * R$$

$$Snuevo = KSu * S$$

$DTLargo$ es la diferencia promediada de la escala de tiempo largo entre el valor objetivo promedio de la escala de tiempo largo.

10 $TLargo$ es el valor objetivo promedio de la escala de tiempo largo.

KT es la fracción aceptada máxima de $TLargo$ que el controlador permite que alcance $DTLargo$ antes de ajustar los parámetros de control.

KRd es la fuerza con la que se ajusta hacia abajo (d) el parámetro de control R.

KSu es la fuerza con la que se ajusta hacia arriba (u) el parámetro de control S.

15 Es decir, en este caso el proceso intentará obtener cambios en los valores objetivo más en control mediante un ajuste más fuerte de los impulsores.

$$\Delta Dmin = KD0 * (DLargo - Dmin)$$

$$\Delta Dmax = KD0 * (Dmax - DLargo)$$

Si $(D < Dmin + \Delta Dmin$ o $D > Dmax - \Delta Dmax)$:

20 $Rnuevo = KRu * Rnuevo$

$$Snuevo = KSd * Snuevo$$

$\Delta Dmin$ es una banda flotante "prohibida" alrededor del límite operacional $Dmin$.

$\Delta Dmax$ es una banda flotante "prohibida" alrededor del límite operacional $Dmax$.

KRu es la fuerza con la que se ajusta hacia arriba (u) el parámetro de control R.

25 KSd es la fuerza con la que se ajusta hacia abajo (d) el parámetro de control S.

$DLargo$ es el valor de impulsor promedio de escala de tiempo largo.

Los parámetros de control se relajan si el impulsor está dentro de alguna de las bandas dadas por $\Delta Dmin/max$. Las bandas se ajustan dinámicamente para permitir que el proceso controle los impulsores cerca de los límites operacionales durante períodos largos, cuando las condiciones del proceso lo requieren, y al mismo tiempo capte casos en los que los impulsores se controlan rápidamente en dirección a los límites operacionales.

30 Los valores de R y S se mantienen siempre dentro de los límites $Rmin/max$ y $Smin/max$, respectivamente. Sin embargo, se puede conseguir un rendimiento de control adicional mediante el ajuste de estos límites de acuerdo con una escala de tiempo muy larga, en el lado del control más activo ($Rmin$ y $Smax$), es decir, permite intentos más fuertes de mantener los objetivos en sus puntos de ajuste cuando las condiciones del proceso son "fáciles", al mismo tiempo que permite más variación de los objetivos cuando las condiciones son "duras". Se fuerza a los controladores del proceso normal a que controlen los ajustes para condiciones "duras" en todo momento.

Una implementación de este modo consiste en reforzar oportunamente el control de vez en cuando (poco), bien a un parámetro que tiene un límite dinámico máximo/mínimo o bien mediante un porcentaje establecido y luego detectar signos de un control demasiado duro del proceso.

40 Si $(abs(D - Dantiguo) > KD1 * DLargo)$:

$$Rnuevo = KRu * R$$

$$Snuevo = KSd * S$$

$$Rmin = (1 + KRu) * R / 2$$

$$S_{max} = (1 + K_S d) \cdot S / 2$$

R = Rnuevo

S = Snuevo

- 5 Un signo de que el control del proceso es demasiado duro se muestra arriba: Una detección de un paso de impulsor demasiado largo. En este caso la fuerza de control actual se disminuye instantáneamente desde el nivel problemático, y los límites dinámicos se desplazan más lejos, de modo que ya no se alcanzan los valores problemáticos hasta al menos el tiempo entre cambios oportunos de parámetro.

En el resto de los casos, los valores de R y S se modifican a los valores de Rnuevo y Snuevo a través de un filtro.

Predictor de objetivo

- 10 Para cada objetivo del sistema de control se calcula de manera continua una predicción de correcciones necesarias. Este cálculo es una función de la desviación actual del punto de ajuste del objetivo, así como del efecto provocado por cambios anteriores en los impulsores.

$$\Delta_{T,D}(t) = \Delta_{T,D}(t-1) \cdot (1 - S_{T,D}) + D(t) - D(t-1)$$

$$\Delta T_p = T - T_{\text{setpoint}} - \sum_D R_{T,D} \cdot \Delta_{T,D}$$

donde:

- 15 $\Delta_{T,D}(t)$ es una medida de alteraciones anteriores en el impulsor D.
 T_{setpoint} es el punto de ajuste del objetivo
 ΔT_p es una predicción de la magnitud de los cambios en el objetivo que se necesitan del paso de control actual

Ajuste del impulsor

- 20 Para cada objetivo se calcula cómo debería ajustarse cada impulsor, si se usa solo ese impulsor para corregir desviaciones predichas en el objetivo.

$$D_{\text{prop}}^T = [\alpha / R_{T,D}] \cdot \Delta T_p + D$$

donde:

- D_{prop}^T es el nuevo valor propuesto de un impulsor necesario para corregir las desviaciones del objetivo T.
 25 α es la fuerza del control

Una vez se ha calculado D_{prop}^T para todos los pares de un objetivo T y un impulsor D, el controlador calcula un único valor ajustado para cada impulsor. Esto se hace calculando una suma ponderada de los D_{prop}^T 's para cada D.

$$D_{\text{update}} = \frac{\sum w_T \cdot D_{\text{prop}}^T}{\sum w_T}$$

donde

- 30 D_{update} es el único valor de accionador ajustado para cada impulsor.
 w_T es el peso de objetivo T.

El peso individual w_T asignado a cada objetivo está basado en la fuerza de la correlación de los objetivos con la medida de rendimiento, la fiabilidad de las medidas de los objetivos, o alguna otra característica significativa.

Ajuste de objetivo

- 35 Para conseguir la meta de rendimiento global del proceso, se lleva a cabo un ajuste en línea del objetivo del sistema de control.

El ajuste de objetivo adopta dos formas:

La causa principal del ajuste de objetivo surge de las medidas de rendimiento. La medida de rendimiento es el indicador clave del proceso; sin embargo, es una variable que generalmente no se muestrea de manera continua. En lugar de ello, se toman medidas de rendimiento periódicamente, típicamente valores de laboratorio, y cuando se observan desviaciones entre la medida de rendimiento y la meta de rendimiento, el sistema de control ajusta los puntos de ajuste del objetivo.

5 La otra fuente del ajuste de objetivo surge de variaciones en variables de entrada no manipuladas. Estas variables pueden monitorizarse y se sabe que influyen en la meta de rendimiento, aunque son imposibles de controlar en la mayoría de las aplicaciones prácticas. Esto podría incluir variables tales como temperatura ambiente o humedad, o ser medidas de concentración de entrada de componentes.

10 La implementación de ajuste de objetivo debido a cambios en variables de entrada adopta la siguiente forma:

$$T_{\text{tuned}}(t) = T_{\text{tuned}}(t-1) + \sum_{V_i} g_{T,V_i}(V_i(t), V_i(t-1), \dots, V_i(t-n))$$

donde:

T_{tuned} es el punto de ajuste de objetivo ajustado en el paso de tiempo t .

$V_i(t)$ son variables de entrada no manipuladas (filtradas) en el momento t .

15 g_{T,V_i} es la función de ajuste asociada a la variable v_i y el objetivo T .

La forma más simple de g es la relación lineal:

$$g_{T,V_i}(V_i(t), V_i(t-1)) = K_{T,V_i}[V_i(t) - V_i(t-1)]$$

La implementación de ajuste de objetivo debido a desviaciones entre la meta de rendimiento y la medida de rendimiento adopta la siguiente forma:

20
$$T_{\text{tuned}} = T_{\text{tuned,old}} + h_{T,P}(P_{\text{setpoint}}, P(t), P(t-1), \dots, P(t-n))$$

donde:

T_{tuned} es el nuevo punto de ajuste ajustado calculado del objetivo

$T_{\text{tuned,old}}$ es el punto de ajuste de objetivo antiguo (antes de la medida de rendimiento)

$P(t)$ es una medida del rendimiento en el momento t .

25 P_{setpoint} es la Meta de rendimiento global del sistema

$h_{T,P}$ es la función de ajuste asociada a la meta de rendimiento y el objetivo T .

La forma más simple de h es la relación lineal:

$$h_{T,P}(P_{\text{setpoint}}, P) = K_{T,P} \cdot [P - P_{\text{setpoint}}]$$

Selección de impulsor

30 El sistema de control ajusta como máximo un impulsor en cada intervalo de control. Como el ajuste potencial de impulsor se calcula para todos los impulsores (ver 50), se introduce un proceso de selección para escoger uno de entre el grupo de impulsores disponibles.

35 Se lleva a cabo una ordenación de los impulsores basándose en consideraciones tales como la capacidad de proceso, la eficiencia energética o criterios similares. Además, la selección del impulsor depende de si el ajuste de un impulsor específico tiene una relación positiva o negativa entre la producción y el consumo de energía. En un proceso de secado, por ejemplo, la temperatura de entrada tendría una relación positiva, debido a que una mayor temperatura (en igualdad del resto de condiciones) permitiría una mayor velocidad de secado.

En una realización de un sistema de control con 3 impulsores se llevó a cabo la siguiente ordenación.

1. Flujo de material de entrada - debido a enfoque principal sobre la capacidad del proceso

- 2. Temperatura de entrada - debido a que tiene una eficiencia energética mayor que 3
- 3. Flujo de aire de entrada - debido a una eficiencia energética menor

Los 3 impulsores tienen una relación positiva producción/consumo de energía, y por tanto la selección entre los impulsores tendría la siguiente forma:

- 5 Orden de selección:
 - 1. ¿Aumentar flujo de material de entrada?
 - a. Sí -> selección PARADA – aumentar flujo de material de entrada.
 - b. NO -> continuar selección.
 - 2. ¿Aumentar temperatura del aire de entrada?
 - 10 a. Sí -> selección PARADA – aumentar temperatura del aire de entrada.
 - b. NO -> continuar selección.
 - 3. ¿Aumentar o disminuir flujo de aire de entrada?
 - a. Sí -> selección PARADA – aumentar/disminuir flujo de aire de entrada
 - b. NO -> continuar selección
 - 15 4. ¿Disminuir temperatura de aire de entrada?
 - a. Sí -> selección PARADA – disminuir temperatura del aire de entrada
 - b. NO -> continuar selección
 - 5. ¿Disminuir flujo de material de entrada?
 - a. SI -> selección PARADA – disminuir flujo de material de entrada.
 - 20 b. NO -> sin cambios.

Para hacer más hincapié en el origen de los varios datos de entrada para el proceso de control se hace referencia a la figura 2. Aunque en la figura 1 todos los datos de entrada para el proceso de control parecen originarse del proceso, se debe entender que esto es más amplio que el propio proceso. Los datos de entrada se originan parcialmente del proceso, pero también pueden ser medidas de la entrada al proceso, es decir, la alimentación del proceso, o pueden ser medidas de la salida del proceso, es decir, el producto producido por el proceso. Finalmente, los datos que se originan de los alrededores también pueden parecer datos de entrada al proceso, por ejemplo la humedad del aire o la presión de entrada.

Aunque la presente invención se ha descrito con relación a realizaciones específicas, no se pretende que esté limitada a la forma específica descrita en este documento. Por el contrario, el alcance de la presente invención está limitado únicamente por las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, el término “comprende” no excluye la presencia de otros elementos o pasos. Adicionalmente, aunque diferentes reivindicaciones pueden tener elementos individuales, éstos pueden posiblemente combinarse de manera ventajosa, y la inclusión en diferentes reivindicaciones no implica que una combinación de elementos no sea factible y/o ventajosa. Además, referencias individuales no excluyen una pluralidad. Por tanto, referencias a “uno”, “una”, “primero”, “segundo”, etc. no excluyen una pluralidad. Además, los signos de referencia de las reivindicaciones no deben interpretarse como limitantes del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar un proceso, comprendiendo el método un modelo de control adaptativo y al menos una entrada de proceso y al menos una salida de proceso, comprendiendo el modelo de control:
 - predecir los objetivos relevantes del proceso; y
- 5 - seleccionar los impulsores relevantes del proceso basándose en la predicción de objetivos; siendo dichos impulsores entradas que pueden ser ajustables y que afectan a los valores objetivo; en donde dicho método comprende adaptar varios parámetros basándose en una o más entradas, y usar los parámetros adaptados como una entrada para la predicción de objetivo;
- 10 en donde dicho método comprende un procesamiento de variables de entrada manipuladas, variables de salida dependientes, variables de entrada no manipuladas y medidas y meta de rendimiento.
2. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el método comprende una adaptación de parámetro no lineal, predicción de objetivo, ajuste de objetivo, ajuste de impulsor y selección de impulsor como entradas al proceso que se va a controlar.
- 15 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, donde las variables de entrada manipuladas y las variables de salida dependientes se utilizan para la adaptación de parámetro no lineal y además para la predicción de objetivo junto con la salida de la adaptación de parámetro no lineal.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, donde las variables de entrada no manipuladas y las medidas y la meta de rendimiento se utilizan para el ajuste de objetivo.
- 20 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, donde el método comprende medir un parámetro fuera de línea y proporcionar la medida del parámetro fuera de línea como una entrada para el ajuste de objetivo.
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, donde la predicción de objetivo y el ajuste de objetivo se usan para el ajuste del impulsor.
7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el método comprende una unidad de preprocesamiento para preparar las señales de entrada para el proceso de adaptación.
- 25 8. Un sistema de control adaptado para llevar a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes con relación a un aparato de producción.
9. Un aparato de producción que comprende un sistema de control que lleva a cabo un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 30 10. Un aparato de producción de acuerdo con la reivindicación 9, donde el aparato comprende dispositivos de medida para medir datos manipulados en el proceso así como datos no manipulados en y/o alrededor del proceso y donde los datos se alimentan al sistema de control.

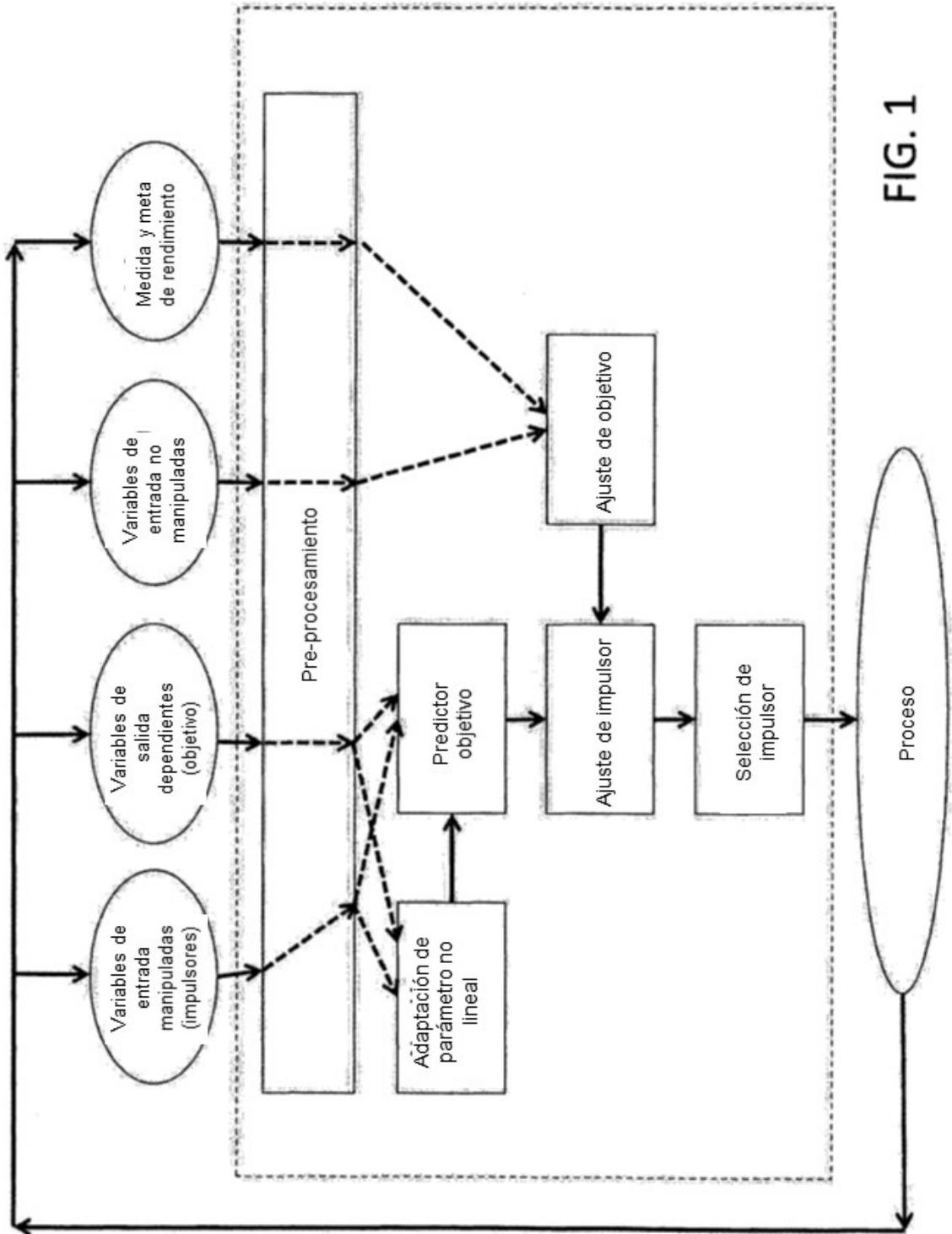


FIG. 1

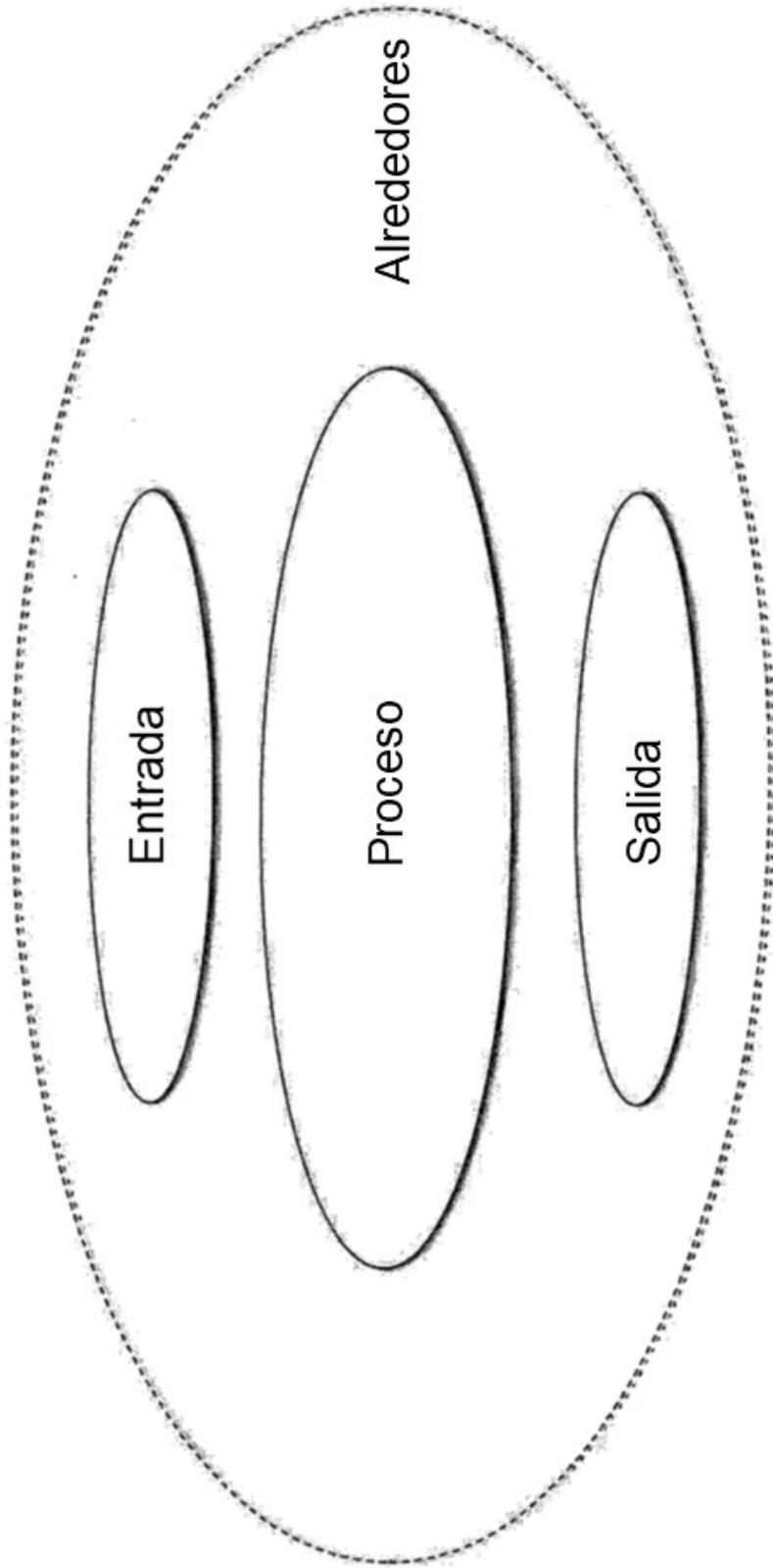


FIG. 2