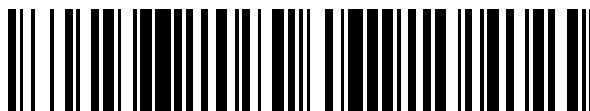


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 648**

51 Int. Cl.:

G05D 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2008** **E 08167242 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.06.2015** **EP 2058719**

54 Título: **Ayuda de seguimiento fino para un operario utilizando entradas obtenidas por sensor**

30 Prioridad:

26.10.2007 US 924879

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

07.10.2015

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

HALAAS, DAVID J.

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 547 648 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

Ayuda de seguimiento fino para un operario utilizando entradas obtenidas por sensor

5 ANTECEDENTES

Las realizaciones de la presente invención están relacionadas con sistemas hombre-máquina que pueden completar tareas complejas de control mecánico, y más particularmente con mezclar entradas de operarios humanos con entradas obtenidas de mediciones de sensor para la tarea específica, a efectos de mejorar el rendimiento de la tarea y de reducir la carga de trabajo del operario.

Utilizando sensores precisos y apropiados, se pueden construir sistemas autónomos de control que pueden hacer mejor que un operario humano una tarea específica, estrictamente definida. Las misiones complejas de control mecánico, que consisten en tareas claramente definidas ejecutadas en un orden específico, requieren un sistema autónomo complejo que pueda funcionar en múltiples modos con criterios asociados de conmutación de modos. Dichos sistemas pueden ser propensos a fallos cuando encuentran circunstancias imprevistas. Un operario humano bien entrenado, por otra parte, se puede adaptar a circunstancias imprevistas y aplicar su juicio para completar una misión completa.

Habitualmente, el problema de integrar un sistema de control que utiliza entradas de control obtenidas por sensor con la presencia de un operario experto ha tenido tres enfoques básicos:

1. El operario puede actuar como supervisor de un sistema autónomo de control con plena autoridad configurado para funcionar en una serie de modos, cada uno de ellos capaz de completar una tarea específica. El operario es responsable de activar y desactivar el sistema autónomo por medio de conmutadores de palanca, así como de seleccionar un modo a través de conmutadores momentáneos, según proceda para la tarea específica. La anulación por el operario requiere la desactivación explícita del sistema autónomo.

2. Un sistema autónomo de control que tiene una serie de modos puede proporcionar a un operario opciones "sugeridas" por medio de un panel de control. En este caso, el sistema autónomo tiene cero autoridad y el operario es el único responsable de manejar las entradas de control.

3. Un sistema que tiene una ley de control de "bucle externo", que utiliza entradas de sensor adecuadas para una tarea específica, puede generar una entrada automática que se añade directamente a la entrada del operario humano. Se utiliza un límite de autoridad para asegurar que el operario puede anular la entrada automática.

Los inconvenientes de los enfoques anteriores de sistemas hombre-máquina incluyen los siguientes. Un sistema autónomo de control con plena autoridad requiere que el operario humano tenga un conocimiento experto de todos los modos de funcionamiento del sistema para realizar las funciones necesarias de conmutación, activar/desactivar y anular. El operario estará un tanto desconectado de la tarea, dado que el sistema autónomo tiene plena autoridad, y será relegado en cambio a monitorizar minuciosamente el sistema para asegurar que se activa y lleva a cabo el modo apropiado. Cualquier falta de conciencia de la situación en relación con la activación o el estado de modos puede tener consecuencias catastróficas dependiendo de la criticidad de la tarea. Por otra parte, cuando se proporcionan opciones propuestas mediante un sistema autónomo de autoridad cero, el operario tiene que realizar un juicio intermedio y aplicar la decisión correcta. Los operarios humanos están sujetos a un considerable retardo de reacción neuromuscular en respuesta a una entrada instantánea, habitualmente en el intervalo de 200 ms, lo que puede limitar severamente el rendimiento de tareas alcanzable por el operario. En el caso de sistemas de ley de control de "bucle externo", las entradas de control autónomo se aplican en paralelo a las entradas del operario, y aunque el operario puede tener la capacidad de anulación, pueden surgir problemas debido a una duplicación de esfuerzos de control cuando tanto el operario como la ley de control están siguiendo el mismo objetivo. Dicha duplicación del esfuerzo de control podría tener como resultado una sobrecompensación mediante el sistema combinado hombre-máquina. En este caso, el operario tiene que compensar los efectos de la ley de control así como las características (dinámicas) del sistema.

La memoria US 3.446.946 (Andeen) da a conocer un sistema de control auto-adaptativo de momento potencial, en el que un control auto-adaptativo ajusta la ganancia global del sistema de tal modo que se adapta la respuesta del sistema real a la de un modelo de respuesta óptima, mientras que al mismo tiempo considera y maximiza la estabilidad del sistema global (momento mínimo).

La memoria US 4.030.011 (Hendrick et. al) da a conocer un sistema de control que presenta más de una característica de respuesta del sistema dependiendo de parámetros de la señal de entrada, sin requerir la conmutación discreta de componentes del sistema. Se suministra por lo menos una señal de entrada del sistema, de frecuencia y amplitud variables, a filtros de paso alto y de paso bajo, la salida de uno de los cuales se limita en amplitud y se combina de manera aditiva con la salida del otro filtro para formar una primera señal de control intermedia que se combina de manera sustractiva con la señal de entrada para formar una segunda señal de control intermedia. La primera y la segunda señales de control intermedias se pasan a través de elementos de transferencia

de señal que tienen diferentes características de transferencia de señal, y a continuación se combinan para proporcionar una respuesta multi-modo.

COMPENDIO

5 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se da a conocer un sistema de ayuda a un operario de seguimiento fino, en la realización de una tarea de control para controlar el movimiento de un objeto hacia un blanco, siendo el sistema según se define en la reivindicación 1.

10 En correspondencia con un segundo aspecto de la invención, se da a conocer un método de ayuda al operario de seguimiento fino, en la realización de una tarea de control para controlar el movimiento de un objeto hacia un blanco, siendo el método según se define en la reivindicación 7.

15 En una realización preferida de la invención, un sistema de ayuda a un operario de seguimiento fino, en la realización de una tarea de control para controlar el movimiento de un objeto hacia un blanco, comprende: un componente de entrada para combinar una entrada del operario para guiar el objeto hacia el blanco con una entrada obtenida por sensor basada en una medición de sensor de la posición del objeto con respecto a la posición del blanco; un componente de filtrado bajo/alto para separar la entrada combinada mediante el componente de entrada en un contenido de baja frecuencia y un contenido de alta frecuencia; un componente de límite de autoridad de baja frecuencia para aplicar una primera ganancia sobre un intervalo seleccionado, al contenido de baja frecuencia
20 filtrado mediante el componente de filtrado bajo/alto a efectos de proporcionar una salida de ganancia de baja frecuencia; un componente de límite de autoridad de alta frecuencia para aplicar una segunda ganancia sobre un intervalo seleccionado, al contenido de alta frecuencia filtrado mediante el componente de filtrado bajo/alto para proporcionar una salida de ganancia de alta frecuencia; y un componente de salida para combinar la salida de ganancia de baja frecuencia procedente del componente de límite de autoridad de baja frecuencia, con la salida de ganancia de alta frecuencia procedente del componente de límite de autoridad de alta frecuencia para formar una
25 entrada de control total para el control del desplazamiento del objeto con respecto al blanco.

30 En una implementación particularmente preferida, el componente de entrada tiene un componente de sustracción para sustraer la entrada de operario de la entrada obtenida por sensor a efectos de obtener una entrada diferencial combinada. El componente de filtrado tiene un filtro de paso bajo para filtrar el contenido de baja frecuencia, y obtener el contenido de alta frecuencia restándolo de la entrada diferencial combinada. En las tareas en las que la ayuda de seguimiento fino se realiza solamente en un intervalo estrecho del contenido de alta frecuencia, el intervalo del límite de autoridad de baja frecuencia se pone a cero para minimizar la interferencia autónoma con la entrada del operario, y el intervalo del límite de autoridad de alta frecuencia se pone a infinito para maximizar la ayuda de
35 seguimiento de alta frecuencia para la entrada obtenida por sensor. El componente de salida incluye un componente de activar/desactivar (E/D, Engage/Disengage) que proporciona la salida combinada cuando el objeto con respecto al blanco está en una zona seleccionada de ayuda. Las realizaciones de la invención pueden abarcar asimismo el método relacionado de ayuda de seguimiento fino.

40 En una realización de la invención, se puede utilizar un ajuste de los intervalos de los límites de autoridad de baja y de alta frecuencia para minimizar la interferencia mediante las entradas obtenidas por sensor durante la prevalencia intencionada del operario. Éste mezcla entradas obtenidas por sensor con entradas del operario para completar una tarea de seguimiento de una manera que evita duplicar los esfuerzos de control o interferir con el operario en intervalos en los que el operario debería prevalecer. Por lo tanto, proporciona ayuda de la máquina sólo cuando es
45 necesaria, y con un límite de autoridad diverso para proporcionar una ayuda mayor desde la entrada obtenida por sensor en los intervalos de frecuencia en los que la entrada del operario puede ser menos apta. Esto puede reducir simultáneamente la carga de trabajo del operario y mejorar el rendimiento del sistema hombre-máquina, en comparación con los sistemas existentes que no mezclan las entradas obtenidas por sensor y la entrada de operario, o que no facilitan la cooperación entre las mismas.

50 Se explicarán otros objetivos, características y ventajas de las diversas realizaciones de la presente invención en la siguiente descripción detallada haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

55 La figura 1 muestra un sistema que implementa un proceso de control básico de ayuda a un operario en un seguimiento fino en un sistema hombre-máquina, de acuerdo con una realización de la presente invención.
La figura 2 muestra una realización preferida para una implementación de ayuda a un operario en un seguimiento fino, de la presente invención.
La figura 3 muestra un modelo de implementación lineal para análisis de la implementación de la ayuda de
60 seguimiento fino para el entorno de tareas de repostaje de aeronaves.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

65 En la siguiente descripción detallada se describen ciertas realizaciones preferidas como ilustraciones de la invención en una aplicación, red o entorno informático específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de la presente invención. Los métodos, procedimientos, componentes o funciones que son conocidos normalmente por los expertos en la materia del sector de la invención no se describen en detalle para no oscurecer innecesariamente

una descripción concisa de la presente invención. Se proporcionan ciertas realizaciones específicas o ejemplos con propósitos solamente ilustrativos, y un experto en la materia reconocerá que la presente invención se puede poner en práctica en otras aplicaciones o entornos análogos y/o con otras variaciones análogas o equivalentes de las realizaciones ilustrativas.

Algunas partes de la descripción detallada que sigue se presentan en términos de procedimientos, etapas, bloques lógicos, procesos y otras representaciones simbólicas de operaciones sobre bits de datos dentro de una memoria informática. Estas descripciones y representaciones son los medios utilizados por los expertos en las técnicas de procesamiento de datos para trasladar de la manera más eficaz la esencia de su trabajo a otros expertos en la materia. En este caso, y generalmente, se concibe que un procedimiento, etapa ejecutada por ordenador, bloque lógico, proceso, etc., es una secuencia autoconsistente de etapas o instrucciones que conducen a un resultado deseado. Las etapas son las que requieren manipulaciones físicas de cantidades físicas. Normalmente, pero no necesariamente, estas cantidades adoptan la forma de señales eléctricas o magnéticas que pueden ser almacenadas, transferidas, combinadas, comparadas y manipuladas de otro modo en un sistema informático. En ocasiones se ha demostrado conveniente, principalmente por razones de uso común, referirse a estas señales como bits, valores, elementos, símbolos, caracteres, términos, números o similares.

Sin embargo, se deberá tener presente que la totalidad de estos términos y otros similares deben ser asociados con las cantidades físicas apropiadas y son solamente etiquetas cómodas aplicadas a estas cantidades. Salvo que se indique específicamente lo contrario, tal como resulta evidente a partir de los siguientes comentarios, se aprecia que en la totalidad de la presente invención, los comentarios que utilizan términos tales como "proceso", o "computación", o "traducción", o "cálculo", o "determinación", o "visualización", o "reconocimiento" o similares, hacen referencia a la acción y a los procesos de un sistema informático, o de un dispositivo similar de cálculo electrónico, que manipula y transforma datos representados como cantidades físicas (electrónicas) dentro de los registros y memorias del sistema informático, en otros datos representados análogamente como cantidades físicas dentro de los registros o memorias del sistema informático o de otros dispositivos semejantes de almacenamiento, transmisión o visualización de información.

Los aspectos de la presente invención, descritos a continuación, se comentan en términos de etapas ejecutadas en un sistema informático, que puede ser de cualquier tipo que tenga recursos adecuados de cálculo y esté configurado para extraer, descodificar y ejecutar instrucciones informáticas. Se comentan asimismo aspectos de la presente invención con respecto a un sistema de Internet que incluye dispositivos electrónicos y servidores acoplados conjuntamente dentro de la plataforma de Internet, pero se pueden implementar de manera similar en cualquier otro tipo de sistema de red extensa que incluya redes inalámbricas de datos o de telefonía digital. Aunque con la presente invención se pueden utilizar una amplia variedad de sistemas informáticos diferentes, en las realizaciones preferidas se muestra y describe un sistema informático a modo de ejemplo. Tal como se utiliza en la presente memoria, la expresión a modo de ejemplo indica un ejemplo, y no necesariamente uno ideal.

A continuación se describe una realización preferida para la implementación de la invención, adaptada para el entorno de tareas de control de repostaje en aeronaves en vuelo. Se ha descrito un tipo anterior de sistema de control hombre-máquina para guiar un brazo extensible de repostaje a un colector de repostaje objetivo (es decir, receptáculo) en la solicitud de patente U.S.A. 11/090.347 de propiedad en común con la presente, presentada el 24 de marzo de 2005, titulada "System and Methods for Automatically and Semi-automatically Controlling Aircraft Refueling", y se puede considerar como un ejemplo del tipo de entorno de tareas tratado en las realizaciones a modo de ejemplo de la presente descripción.

Haciendo referencia a la figura 1, se muestra un sistema 10 que implementa un proceso de control básico de ayuda a un operario en un seguimiento fino, en un sistema hombre-máquina. Cuando se lleva a cabo una tarea compleja de control, la entrada del operario se combina con una entrada obtenida por sensor para obtener una entrada de control total que integra perfectamente al operario con la funcionalidad de la máquina, y simplifica el funcionamiento eliminando cualquier exigencia de que el operario realice juicios intermedios o active/desactive modos del sistema a través de la monitorización del funcionamiento del sistema. Las entradas del operario y las obtenidas por sensor se combinan a través de una implementación de ayuda a un operario en un seguimiento fino, que asegura una cooperación (impide la duplicación de esfuerzos de control) entre el operario y las funciones autónomas del sistema.

En la figura 2, se muestra una realización preferida para la implementación de ayuda a un operario en un seguimiento fino, para el control de cualquier dispositivo mecánico para desplazar un objeto con respecto a un blanco. La entrada de operario 12 y la entrada 14 obtenida por sensor se alimentan a una parte de entrada del sistema 10. La entrada de operario se resta de la entrada obtenida por sensor a través de un componente de sustracción S 20 para obtener la entrada diferencial combinada. La entrada diferencial combinada procedente del componente de sustracción S se pasa a través de un filtro G 22 que separa la entrada, en base al contenido de baja y de alta frecuencia. Por ejemplo, el contenido de baja frecuencia puede ser una medición gruesa de la posición de un objeto respecto de su blanco, y el contenido de alta frecuencia puede ser el desplazamiento vibratorio o de ciclo corto del objeto a medida que éste se desplaza hacia el blanco. Para sistemas manejados por humanos, el filtro G es habitualmente, aunque sin limitarse a, un filtro de paso bajo ($a / s + a$) para filtrar la salida del contenido de baja frecuencia. El sistema 10 incluye asimismo un componente de sustracción 24 para sustraer el contenido de baja

frecuencia filtrado, procedente de la entrada combinada, del componente de entrada para obtener el contenido de alta frecuencia. El contenido de baja frecuencia filtrado mediante el filtro G se pasa a un componente 26 de límite de autoridad de baja frecuencia (LFAL, Low Frequency Authority Limit). Asimismo se bifurca y se resta de la entrada diferencial combinada para pasar el contenido de alta frecuencia a un componente 28 de límite de autoridad de alta frecuencia (HFAL, High Frequency Authority Limit). El componente LFAL aplica una ganancia predeterminada (o perfil de ganancia) sobre un intervalo seleccionado, al contenido de baja frecuencia filtrado mediante el filtro G. El componente HFAL aplica otra ganancia predeterminada (o perfil de ganancia) sobre un intervalo seleccionado al contenido de alta frecuencia pasado por el filtro G. La separación espectral del contenido de la entrada de control permite la aplicación de límites de autoridad distintos sobre diferentes intervalos de frecuencia de la entrada de control. Las salidas de los componentes LFAL y HFAL se proporcionan como la entrada de control total a utilizar para controlar el dispositivo mecánico utilizado para desplazar el objeto con respecto al blanco. El objeto puede ser un brazo extensible de repostaje y el blanco puede ser un receptáculo de repostaje para un sistema de repostaje en vuelo. Alternativamente, el objeto y el blanco pueden ser utilizados en un entorno de simulación para entrenamiento de la tripulación.

Los límites de autoridad de LFAL y HFAL se utilizan para variar el nivel de ayuda, o la autonomía, sobre diferentes intervalos de frecuencia. Los valores de los límites de autoridad están escalados para adaptarse a la escala completa de entradas de operario. Permitir que un límite de autoridad dado iguale la entrada de escala completa del operario tiene como resultado plena autonomía sobre el intervalo de frecuencia correspondiente. Un límite de autoridad de cero tiene como resultado la ausencia de ayuda sobre el intervalo de frecuencia correspondiente. Para sistemas manejados por humanos, estos límites de autoridad se pueden adaptar a las fortalezas y debilidades del operario. Por ejemplo, los operarios humanos son aptos fácilmente para tareas de control de baja frecuencia, o lentas, pero tienen problemas con tareas de seguimiento por encima de uno a dos hercios. Para este caso, un límite de autoridad de baja frecuencia de cero minimizará la interferencia autónoma con el operario mientras que un límite de autoridad de alta frecuencia grande permitirá una ayuda de seguimiento de alta frecuencia.

Las salidas de los diversos límites de autoridad se suman conjuntamente mediante un componente sumador A 30 y se alimentan a un componente 32 de activación/desactivación (E/D) que activa la función de ayuda de límite de autoridad diverso en una zona de ayuda seleccionada. De este modo, se puede utilizar un componente de salida 30 para combinar la salida de ganancia de baja frecuencia procedente del componente de límite de autoridad de baja frecuencia, con la salida de ganancia de alta frecuencia procedente del componente de límite de autoridad de alta frecuencia, para formar una entrada de control total para el control del desplazamiento del objeto con respecto al blanco. Se alimenta una entrada (sensor) de intervalo para el objetivo 34 al componente de E/D, que activa la función de ayuda cuando el intervalo está en el interior de la zona de ayuda y la desactiva cuando está en el exterior del intervalo. La función de la zona de ayuda se define para un blanco de seguimiento dado que proporciona una escala adicional de la ayuda limitada por autoridad. La zona de ayuda sirve para impedir la ayuda de seguimiento cuando el operario está lejos de un blanco dado. Esta función puede ser tan simple como un umbral de "conectar/desconectar ayuda" o podría ser una función suave que escale la entrada de cero a uno, en base al intervalo para el blanco. La forma de la función de zona de ayuda dependerá de la misión o de las tareas del sistema manejado por humanos. Un componente sumador 36 suma la salida combinada de la entrada del operario para obtener la entrada de control total 16 para el control de un dispositivo controlado mecánicamente a efectos de desplazar el objeto con respecto al blanco. Los intervalos de límites de autoridad del componente de límite de autoridad de baja frecuencia y del componente de límite de autoridad de alta frecuencia pueden ser ajustables para permitir configuraciones de autonomía variable que abarcan desde totalmente autónomo con entrada obtenida por sensor hasta totalmente controlado por el operario.

La función de ayuda de E/D se añade a la entrada de operario a través de un componente sumador A para obtener la entrada (de control) total 16. Cuando la función de ayuda hasta desactivada, la salida de E/D es cero y la entrada de operario proporciona la entrada de control total. Cuando la función de ayuda está activada, la entrada diferencial operario/sensor con ayuda de diversos límites de autoridad para diferentes intervalos de frecuencia de contenidos se añade a la entrada de operario y se proporciona como la entrada de control total. La activación o desactivación de la función de ayuda se selecciona dependiendo de las características específicas para un rendimiento óptimo en el entorno de la tarea. Por ejemplo, cuando un blanco se aproxima desde una distancia lejana, puede ser preferible permitir que el operario humano navegue sin ayuda de la máquina. Sin embargo, cuando se requiere un control más fino cerca del blanco, puede ser preferible mezclar la entrada de control humano con la ayuda de la máquina. Además, puede haber algunas tareas en las que sea preferible el control de la máquina sin ninguna entrada humana.

De este modo, se pueden utilizar los límites de autoridad de baja y alta frecuencia para minimizar la interferencia mediante entradas obtenidas por sensor durante la prevalencia intencionada del operario. La implementación de la ayuda de seguimiento fino mezcla entradas obtenidas por sensor con entradas de operario para completar una tarea de seguimiento de una manera que evita duplicar esfuerzos de control o interferir con el operario en intervalos en los que el operario debería prevalecer. La implementación de la ayuda de seguimiento fino proporciona ayuda de la máquina sólo cuando es necesaria, y con un límite de autoridad diverso para proporcionar una ayuda mayor desde la entrada obtenida por sensor en los intervalos de frecuencia en los que la entrada de operario puede ser menos apta. Esto puede reducir simultáneamente la carga de trabajo del operario, reducir la sobrecompensación del

operario y mejorar el rendimiento del sistema hombre-máquina, en comparación con los sistemas existentes que no mezclan las entradas obtenidas por sensor y la entrada de operario, o que no facilitan la cooperación entre las mismas.

- 5 La capacidad de aplicar límites de autoridad distintos sobre intervalos de frecuencia diferentes permite a este método proporcionar una mejora en el rendimiento de la tarea y una reducción de la carga de trabajo del operario, incluso en presencia de algunos errores de sensor. Por ejemplo, un límite de autoridad de baja frecuencia de cero puede hacer este método robusto a cualquier magnitud de sesgo constante de un sensor, a la vez que sigue proporcionando ayuda al operario con aspectos de alta frecuencia de una tarea de seguimiento fino. Los límites de
10 autoridad ajustables permiten una configuración de autonomía variable que abarca desde completamente autónomo hasta completamente tripulado.

La implementación de ayuda de seguimiento fino descrita anteriormente está diseñada para funcionar de manera transparente para el operario. A diferencia del sistema completamente autónomo, el presente sistema se activa
15 implícitamente, por medio de límites de autoridad, cuando el operario reduce el error de la tarea por debajo de algún umbral. Los límites de autoridad se utilizan asimismo para desactivar implícitamente este sistema cuando el operario aplica suficientes entradas lejos del objetivo de la tarea de seguimiento. A diferencia del sistema de autonomía cero, las entradas obtenidas por sensor se aplican directamente a la entrada de operario, lo que tiene como resultado un aumento en el rendimiento de la tarea (asumiendo sensores lo suficientemente precisos). A diferencia del método de
20 aplicación de entradas en paralelo, el presente sistema mezcla las entradas obtenidas por sensor con la entrada de operario, utilizando un filtro complementario, para impedir una duplicación de los esfuerzos de control. Como resultado, el operario no tiene que compensar las entradas obtenidas por sensor, y puede aplicar la misma estrategia de control con o sin las entradas obtenidas por sensor. La adición de las entradas obtenidas por sensor tendrá habitualmente como resultado una reducción en la cantidad requerida de compensación del operario.

25 Cuando se activa cerca del objetivo de la tarea de seguimiento, la implementación del ayuda de seguimiento fino "corrige" parte de las entradas del operario. Esta corrección permite al operario aplicar una estrategia de control más reactiva, es decir, el operario puede simplemente reaccionar al error de tarea observado con poca o ninguna anticipación. La reducción del nivel de anticipación del operario se traduce en una carga de trabajo menor y/o una
30 capacidad espacial para mejoras de rendimiento. Los sistemas de autoridad totalmente autónomos no reducen necesariamente a cero la carga de trabajo del operario, dado que el operario debe mantenerse consciente de la situación en relación con el sistema autónomo. El presente sistema puede reducir la carga de trabajo a un nivel similar al de una "supervisión del sistema autónomo" sin la complejidad añadida por monitorización del operario de un sistema de autoridad totalmente autónomo.

35 Tal como se muestra en la figura 3, se desarrolló un modelo de implementación lineal para el análisis de la implementación de la ayuda de seguimiento fino para el entorno de tareas de repostaje de aeronaves. Si la autoridad de baja frecuencia se pone a cero, y si el límite de autoridad de la alta frecuencia se pone a infinito, la ley de control de la ayuda de seguimiento se reduce a un filtro complementario. El filtro complementario combina la entrada de
40 operario de baja frecuencia con la entrada de seguimiento autónomo de alta frecuencia. Si bien este filtrado proporciona un rendimiento de seguimiento mejorado, demasiado filtrado de paso bajo en la entrada del operario puede degradar el rendimiento del sistema para tareas no de seguimiento. Se puede encontrar un valor óptimo para el filtro de la ley de control de la ayuda de seguimiento a efectos de equilibrar la ayuda de seguimiento con la interferencia del operario. En el modelo de implementación lineal, la reacción del piloto en la realización de una tarea
45 principal hacia un objetivo principal se filtra para la entrada de baja frecuencia a través del filtro Comp (paso bajo), mientras que la entrada global se somete a ganancia de sistema autónomo y se filtra para la entrada de alta frecuencia a través del filtro Comp (paso alto). La entrada de inserción total se compara con la que un operario estimaría como óptima para la entrada de control total. La reacción del piloto en la realización de una tarea secundaria en pos de un objetivo secundario puede asimismo ser analizada de este modo. El modelo está previsto
50 para identificar una frecuencia óptima de ruptura del filtro, que proporciona ayuda a un operario de seguimiento (conmutación de tarea abajo) sin degradar las cualidades de manejo para un operario sin seguimiento (conmutación de tarea arriba). Este análisis predijo una reducción en la carga de trabajo del operario y un aumento en el rendimiento del seguimiento hombre-máquina.

55 Se llevó a cabo una prueba de simulación en tiempo real estando un operario al tanto, para verificar las mejoras previstas en el rendimiento del operario y en la carga de trabajo. La prueba se llevó a cabo utilizando un brazo extensible de repostaje aéreo genérico como máquina, y cinco operarios de repostaje aéreo cualificados y dos pilotos de prueba cualificados como operarios humanos. La tarea específica fue el seguimiento fino de un receptáculo. La prueba se llevó a cabo en un simulador de sistema de repostaje aéreo. El límite de autoridad de baja
60 frecuencia de la ayuda de seguimiento fino al operario se puso a cero, de tal modo que el sistema autónomo no podía controlar la posición estable del brazo extensible. La dificultad de la tarea para el operario se modificó cambiando el retardo temporal puro del trayecto de ida aplicado a la entrada de inserción de los operarios. Los operarios no estaban al tanto de la magnitud del retardo temporal puro o de cuándo estaba activa la ayuda de seguimiento fino para el operario. La prueba demostró resultados significativos de que los operarios no percibieron
65 las entradas de ayuda mientras ejecutaban la tarea de seguimiento fino, evidenciando por lo tanto la transparencia del sistema. Los niveles de calidad de la manipulación del operario grabados para puntos de prueba con el sistema

de ayuda de seguimiento fino fueron sistemáticamente mejores, tanto para operarios individuales como para la población de la prueba en conjunto, a los registrados para casos de referencia, evidenciando por lo tanto una carga de trabajo reducida de los operarios. Los datos registrados durante la evaluación demostraron mejoras en el rendimiento conseguidas mediante el sistema de ayuda de seguimiento fino que variaban desde aproximadamente el 2 % hasta aproximadamente el 30 % en comparación con los casos de referencia.

Los principios descritos anteriormente de aplicación de límites de autoridad distintos sobre diferentes intervalos de frecuencia de entrada de control se pueden aplicar de manera similar en otros entornos de tareas hombre-máquina, tales como pilotaje de vehículos aéreos o sistemas de control robotizados. Se pueden adaptar metodologías modificadas al entorno de tareas particular de error de seguimiento de blancos.

Por supuesto, se pueden concebir muchas modificaciones y variaciones a partir de la descripción anterior de los principios de la invención. Se prevé que la totalidad de dichas modificaciones y variaciones se consideran dentro del espíritu y el alcance de esta invención, tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) de ayuda a un operario en un seguimiento fino, en la realización de una tarea de control para controlar el desplazamiento de un objeto hacia un blanco, que comprende:

un componente de entrada (20) para combinar una entrada de operario (12) para guiar el objeto hacia el blanco con una entrada (14) obtenida por sensor en base a una medición de sensor de la posición del objeto con respecto a la posición del blanco;

un componente (22) de filtrado bajo/alto para separar la entrada combinada mediante el componente de entrada, en un contenido de baja frecuencia y un contenido de alta frecuencia, comprendiendo el componente de filtrado bajo/alto un filtro de paso bajo para filtrar el contenido de baja frecuencia, y un componente de sustracción (24) para sustraer el contenido de baja frecuencia filtrado procedente de la entrada combinada, del componente de entrada para obtener el contenido de alta frecuencia;

un componente (26) de límite de autoridad de baja frecuencia para aplicar una primera ganancia sobre un intervalo seleccionado, al contenido de baja frecuencia filtrado mediante el componente de filtrado bajo/alto para proporcionar una salida de ganancia de baja frecuencia;

un componente (28) de límite de autoridad de alta frecuencia para aplicar una segunda ganancia sobre un intervalo seleccionado, al contenido de alta frecuencia filtrado mediante el componente de filtrado bajo/alto para proporcionar una salida de ganancia de alta frecuencia; y

un componente de salida (30) para combinar la salida de ganancia de baja frecuencia procedente del componente de límite de autoridad de baja frecuencia con la salida de ganancia de alta frecuencia procedente del componente de límite de autoridad de alta frecuencia a efectos de formar una entrada de control total para el control del movimiento del objeto con respecto al blanco.

2. El sistema según la reivindicación 1, en el que dicho componente de entrada incluye un componente de sustracción (20) para sustraer la entrada de operario desde la entrada obtenida por sensor con el fin de obtener una entrada diferencial combinada.

3. El sistema según la reivindicación 1, en el que por lo menos uno de dicho componente de límite de autoridad de baja frecuencia tiene un intervalo ajustado a cero para minimizar la interferencia autónoma con la entrada de operario, que está representado por medio de contenido de baja frecuencia, y en el que dicho componente de límite de autoridad de alta frecuencia tiene un intervalo ajustado a infinito para maximizar la ayuda de seguimiento de alta frecuencia para la entrada obtenida por sensor, que está representado por medio de contenido de alta frecuencia.

4. El sistema según la reivindicación 1, en el que dicho componente de salida incluye un componente de activación/desactivación "E/D" que por lo menos uno de:

combina la salida del componente de límite de autoridad de baja frecuencia y la salida del componente de límite de autoridad de alta frecuencia como una salida combinada cuando está activado en una zona de ayuda seleccionada,

recibe una entrada de intervalo para objetivo del objeto con respecto al blanco y la activa cuando el intervalo está dentro de la zona de ayuda y la desactiva cuando está fuera de la zona de ayuda, y

proporciona la salida combinada a un componente sumador, que la suma a la entrada del operario para obtener la entrada de control total para el control del dispositivo mecánico controlado.

5. El sistema según la reivindicación 4, en el que cuando dicho componente de activación/desactivación "E/D" se desactiva, su salida combinada es cero y la entrada de operario proporciona la entrada de control total.

6. El sistema según la reivindicación 1, en el que los intervalos de límites de autoridad de dicho componente de límite de autoridad de baja frecuencia y de dicho componente de límite de autoridad de alta frecuencia son ajustables para permitir configuraciones de autonomía variable que abarcan desde totalmente autónoma con entrada obtenida por sensor hasta totalmente controlada por operario.

7. Un método de ayuda a un operario en un seguimiento fino, en la realización de una tarea de control para controlar el desplazamiento de un objeto hacia un blanco, que comprende:

combinar una entrada de operario (12) para guiar el objeto hacia el blanco, con una entrada (14) obtenida por sensor procedente de mediciones del sensor de la posición del objeto en relación con la posición del blanco;

separar (22) la entrada combinada en contenido de baja y de alta frecuencia, lo que comprende filtrar (22) el contenido de baja frecuencia y sustraer (24) el contenido de baja frecuencia filtrado de la entrada combinada para obtener el contenido de alta frecuencia;

disponer un componente (26) de límite de autoridad de baja frecuencia para aplicar una ganancia predeterminada sobre un intervalo seleccionado al contenido de baja frecuencia;

disponer un componente (28) de límite de autoridad de alta frecuencia para aplicar una ganancia predeterminada sobre un intervalo seleccionado al contenido de alta frecuencia; y

combinar (30) la salida de ganancia de baja frecuencia del componente de límite de autoridad de baja frecuencia con la salida de ganancia de alta frecuencia del componente de límite de autoridad de alta frecuencia, como la entrada de control total para controlar el desplazamiento del objeto con respecto al blanco.

- 5 8. El método según la reivindicación 7, en el que por lo menos una de dicha combinación de la etapa de entrada incluye sustraer (20) la entrada de operario desde la entrada obtenida por sensor para obtener una entrada diferencial combinada.
- 10 9. El método según la reivindicación 7, en el que por lo menos uno de dicho componente de límite de autoridad de baja frecuencia tiene un intervalo configurado a cero para minimizar la interferencia autónoma con la entrada de operario que está representado mediante contenido de baja frecuencia, y dicho componente de límite de autoridad de alta frecuencia tiene un intervalo configurado a infinito para maximizar la ayuda de seguimiento de alta frecuencia para la entrada obtenida por sensor que está representado mediante contenido de alta frecuencia.
- 15 10. El método según la reivindicación 7, en el que dicha combinación de la etapa de salida, por lo menos uno de proporciona la salida combinada cuando el objeto con respecto al blanco está en una zona de ayuda seleccionada, no proporciona la salida combinada cuando el objeto con respecto al blanco está fuera de la zona de ayuda, suma (36) la salida combinada a la entrada de operario para obtener la entrada de control total para el control de un dispositivo mecánico controlado a efectos de desplazar el objeto con respecto al blanco, y proporciona solamente la entrada de operario como la entrada de control total cuando el objeto con respecto al blanco está fuera de la zona de ayuda.
- 20 11. El método según la reivindicación 7, en el que los intervalos de límites de autoridad de dicho componente de límite de autoridad de baja frecuencia y de dicho componente de límite de autoridad de alta frecuencia son ajustables para permitir configuraciones de autonomía variable que abarcan desde totalmente autónoma con entrada obtenida por sensor hasta totalmente controlada por operario.
- 25 12. El método según la reivindicación 7, en el que el objeto es un brazo extensible de repostaje y el blanco es un receptáculo de repostaje para un sistema de repostaje en vuelo.
- 30 13. El método según la reivindicación 7, en el que el objeto y el blanco se utilizan en un entorno de simulación para entrenamiento de la tripulación.
- 35

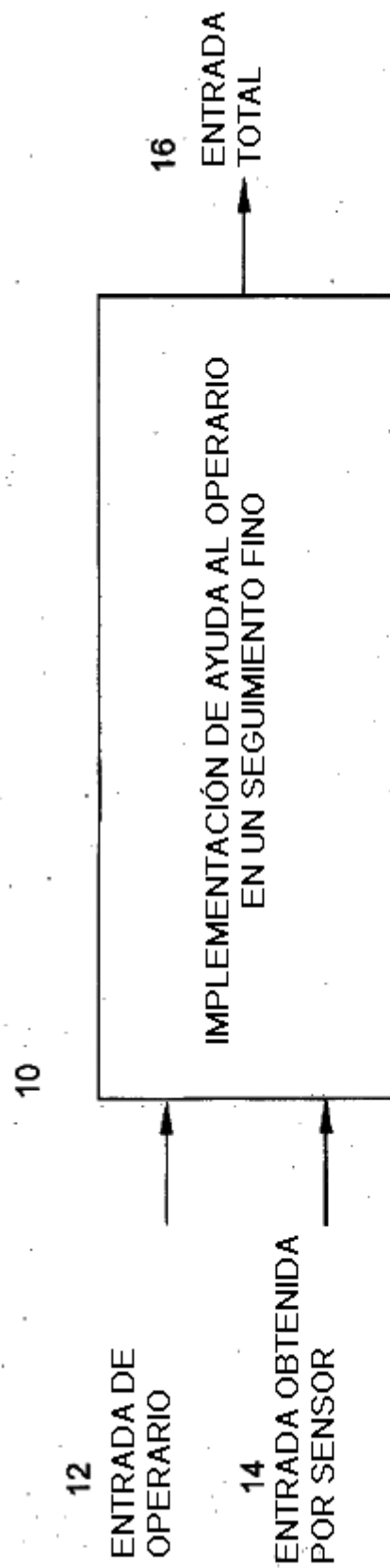


FIG. 1

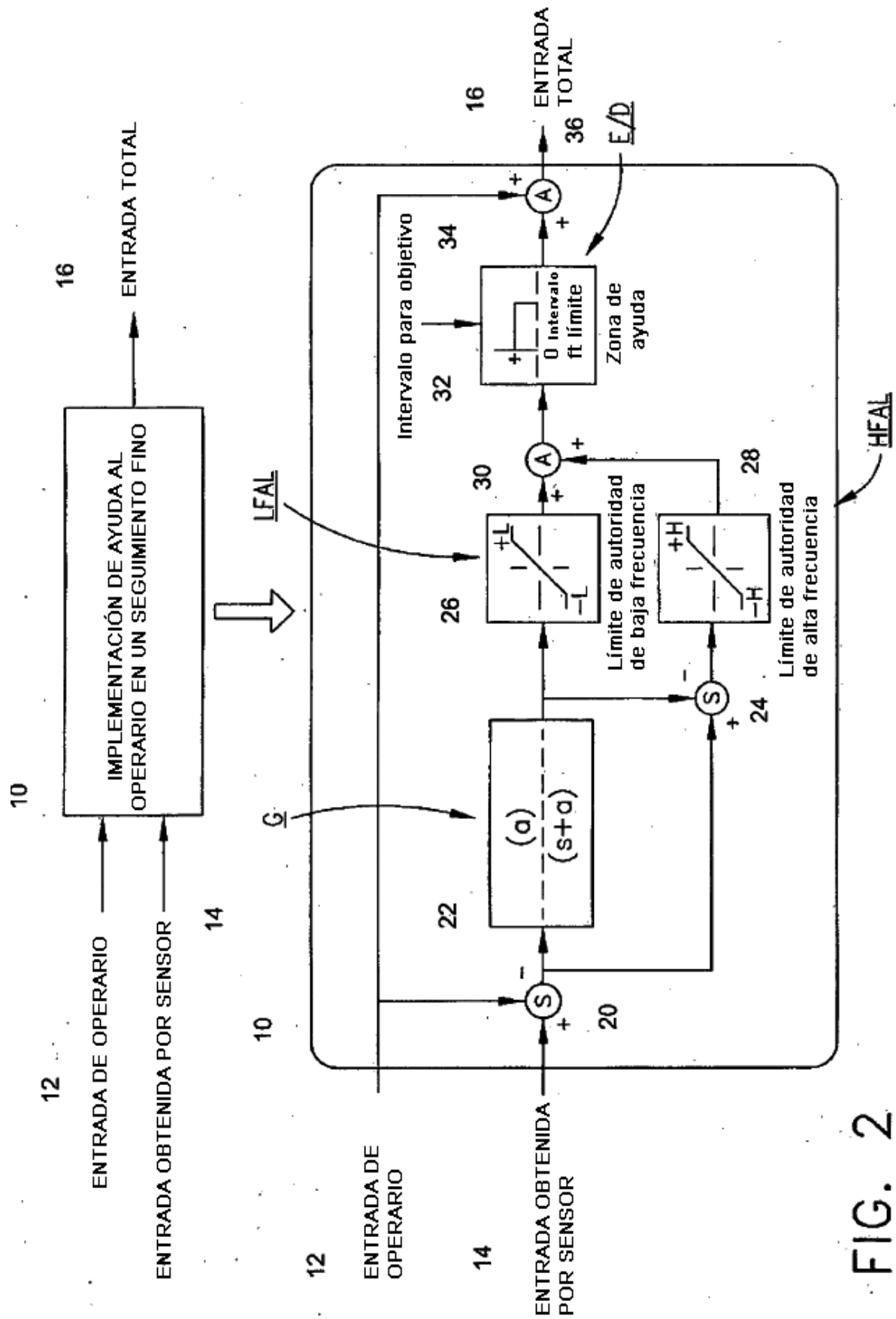


FIG. 2

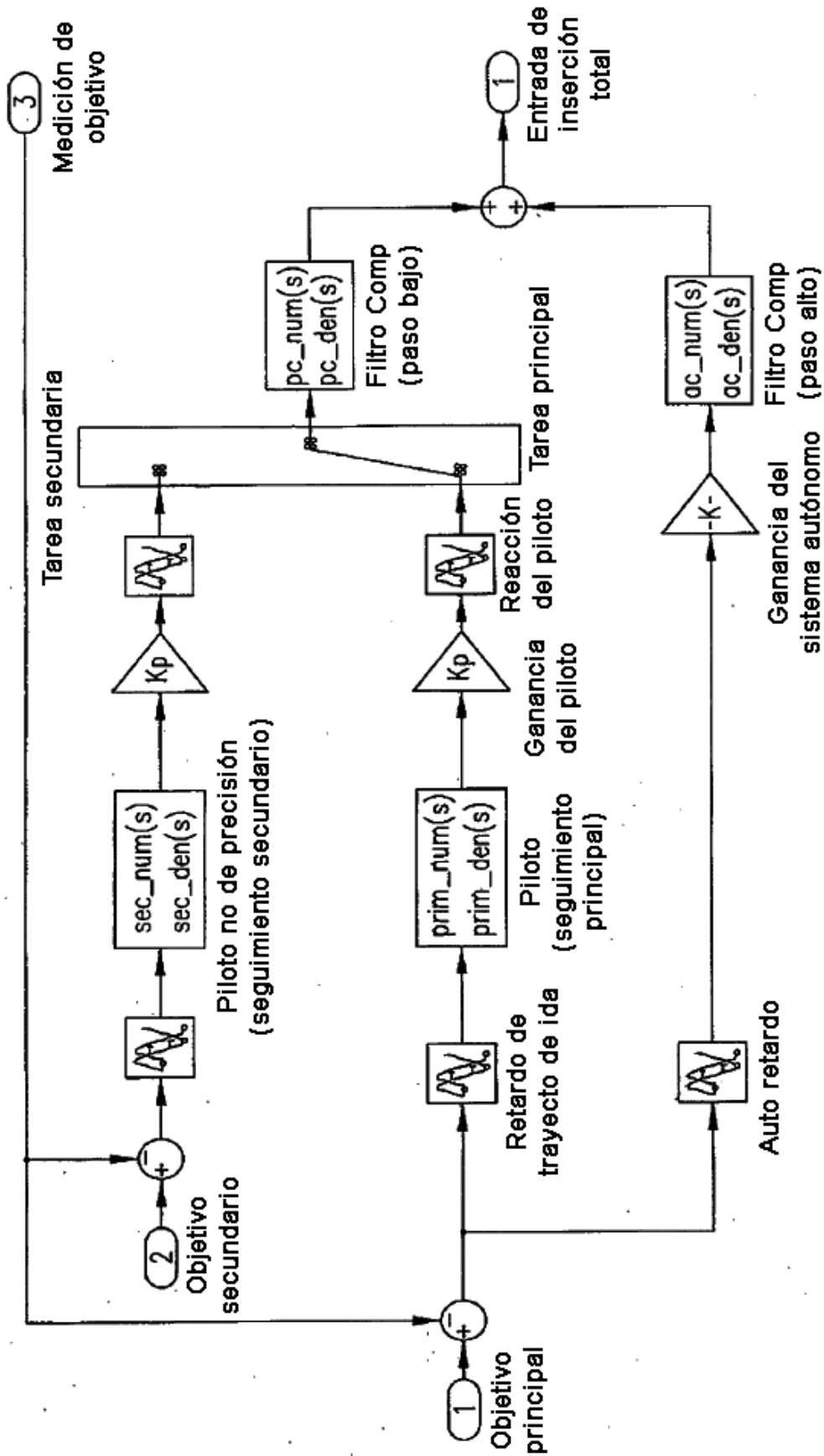


FIG. 3