

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 893 898**

51 Int. Cl.:

B60T 8/17 (2006.01)

B64C 25/42 (2006.01)

G05D 1/00 (2006.01)

B60T 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.12.2017** **PCT/US2017/068417**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2018** **WO18125866**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.12.2017** **E 17886641 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.09.2021** **EP 3563276**

54 Título: **Sistema y método para la estimación simplificada de la distancia de frenado de una aeronave**

30 Prioridad:

28.12.2016 US 201662439799 P

22.12.2017 US 201715852913

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2022

73 Titular/es:

HYDRO-AIRE, INC. (100.0%)

3000 Winona Avenue

Burbank, CA 91504, US

72 Inventor/es:

SLATKIN, ANDREW BRETT

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 893 898 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

Sistema y método para la estimación simplificada de la distancia de frenado de una aeronave

5 **Antecedentes**

Los fabricantes de aviones están incorporando nuevos sistemas avanzados de frenado que están diseñados para minimizar la cantidad de tiempo que una aeronave ocupa la pista de un aeropuerto al aterrizar. Minimizar el tiempo de ocupación de la pista mejora la eficiencia y la seguridad de las pistas y maximiza el uso de los recursos del aeropuerto. Para minimizar la duración del uso de la pista por parte de una aeronave, ésta debe desacelerar desde su velocidad de toma de tierra hasta una velocidad de rodaje segura de la forma más rápida posible. Por seguridad y para reducir el desgaste y deterioro de la aeronave, es importante que ésta frene de forma controlada y no demasiado rápida ni demasiado lenta. En el uso, estos sistemas permiten al piloto seleccionar la pista deseada para aterrizar y salir de la aeronave, y el sistema de frenado desacelerará la aeronave lo suficientemente fuerte, pero sólo lo suficientemente fuerte, para reducir la velocidad del avión hasta la salida que lleva a la pista o terminal deseada. Una vez que el piloto selecciona la salida de pista adecuada durante la aproximación a la toma de tierra, el sistema regula la desaceleración del avión tras la toma de tierra. Esto permite que el avión llegue a cualquier salida elegida a la velocidad correcta en condiciones óptimas, independientemente de las condiciones imperantes, incluidas las de mal tiempo y visibilidad. Uno de los puntos fuertes de estos nuevos sistemas es que optimizan el frenado para que la aeronave llegue antes a la intersección de la pista de rodaje (es decir, la aeronave no decelera ni demasiado fuerte ni demasiado pronto, manteniendo la velocidad para minimizar el tiempo que pasa en la pista) y también evita que se sobrepase la intersección, lo que daría lugar a un rodaje relativamente lento hasta la siguiente salida disponible.

Uno de estos sistemas se propone en la Patente de los Estados Unidos número 9.102.404 titulada Método para controlar la desaceleración en tierra de un vehículo. Para determinar la fuerza de frenado apropiada necesaria para desacelerar con precisión el vehículo, deben conocerse varios parámetros. Una consideración muy importante es la determinación de una estimación precisa de la distancia entre la toma de tierra del vehículo y la ubicación de salida/sobrepaso de pista; además, la estimación de la distancia entre la posición actual de la aeronave y el punto de salida deseado se calcularía continuamente a medida que la aeronave se desacelera en la pista. Algunos sistemas de navegación se basan en una rama de la matemática esférica llamada geodesia para calcular las distancias entre puntos en o sobre la Tierra. Un enfoque común es el propuesto por Sodano y Robinson en su artículo "Direct And Inverse Solutions Of Geodesies" (Soluciones directas e inversas de geodesias) Informe Técnico del Ejército de los Estados Unidos número 7. Para la integración en tiempo real, los cálculos de la distancia de frenado en los aviones que utilizan la geodesia en el software de navegación pueden requerir una forma de este tipo de matemáticas.

El problema del uso de geodesia para llevar a cabo cálculos de distancia es que requieren un enfoque iterativo para llegar a una solución, que es exigente para un sistema computacional como el controlador del sistema de frenos, especialmente cuando los cálculos se requieren en tiempo real. En muchos casos, los cálculos de distancia pueden sobrecargar el sistema. Lo que se necesita es un enfoque simplificado que conserve la precisión necesaria de las estimaciones de distancia de la pista del sistema de frenado, pero que pueda reducir los cálculos a funciones aritméticas en lugar de funciones iterativas.

US2007/208466, que se considera que representa la técnica anterior más próxima, describe un sistema de frenado para reducir la velocidad de una aeronave que tiene un procesador, que incluye una memoria para almacenar un programa para calcular los parámetros de frenado, un actuador de frenado que responde a las órdenes del procesador, un sistema de navegación de la aeronave que proporciona datos de la posición actual de la aeronave y datos de posición, utilizando el procesador la fórmula de semiverseno para estimar la distancia entre una posición actual y la ubicación final de la aeronave.

Utilizando una estimación simplificada de la distancia de frenado de la aeronave, se pueden realizar continuamente en tiempo real cálculos que determinan y controlan con precisión el frenado para alcanzar la velocidad deseada cuando la aeronave llega a la salida de la pista de rodaje seleccionada. Además, mediante el uso de esta estimación simplificada de la distancia de frenado de la aeronave, pueden utilizarse cálculos para crear un aviso de posibles excursiones al final de la pista y/o iniciar acciones de frenado para evitar las excursiones al final de la pista. Estos cálculos pueden utilizarse para crear un aviso de "aterrizaje largo" y controlar agresivamente el frenado para compensar la distancia de pista disponible acortada si un avión aterriza demasiado lejos a lo largo de la pista. De acuerdo con esta funcionalidad añadida, estos cálculos podrían utilizarse para avisar si no hay suficiente pista disponible incluso antes de la toma de contacto.

60 **Resumen de la invención**

La presente invención es un sistema y un método de frenado que utiliza una estimación simplificada de una distancia entre dos posiciones en la tierra en base a una geometría esférica en la que la distancia entre los dos puntos es relativamente pequeña.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de frenado para reducir la velocidad de una aeronave según la reivindicación 1.

La presente invención proporciona además un método para ajustar la deceleración instantánea de una aeronave para minimizar la ocupación de una pista de aterrizaje por parte de una aeronave según la reivindicación 6.

Un sistema de frenado que utiliza la estimación simplificada antes mencionada es más eficiente y está mejor equipado para manejar las estimaciones rápidamente cambiantes de las necesidades de frenado y las condiciones variables, haciendo que el sistema de frenado sea más robusto que los sistemas de la técnica anterior. En la presente invención, las evaluaciones geodésicas se sustituyen por una fórmula del semiverseno modificada que puede incluir un cálculo único del coseno de la coordenada de latitud utilizando, si procede, un cálculo de serie de potencias truncada.

Estas y otras características de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la descripción detallada de la realización preferida que se ofrece a continuación.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista superior de una aeronave en una pista de aterrizaje;

La figura 2 es un esquema que muestra el radio de la tierra y la aproximación de distancia;

La figura 3 es un diagrama esquemático de un sistema para aplicar una fuerza de frenado a un tren de aterrizaje; y

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La figura 1 ilustra una primera realización preferida y una aplicación de la presente invención, que representa en general una aeronave 10 que aterriza en una pista que tiene una rampa de salida 30. Podemos identificar una ubicación en la pista X_{TD} donde la aeronave toca tierra, y este valor puede actualizarse a la posición actual de la aeronave en la pista si es necesario. La ubicación en la pista donde la aeronave debe salir de la misma se designa como X_{SALIDA} , donde el objetivo es desacelerar la aeronave hasta la ubicación de salida de la forma más rápida y segura posible para dejar espacio a otras aeronaves que aterricen o despeguen. Por lo tanto, el objetivo de la invención es reducir el tiempo que tarda la aeronave en llegar desde X_{TD} a X_{SALIDA} aplicando todas las normas y factores de seguridad necesarios. Es decir, la aeronave debe ser llevada desde su velocidad de aterrizaje hasta una velocidad de rodaje deseada de manera que se minimice el tiempo de permanencia de la aeronave en la pista 20. X_{FINAL} representa el final de la pista para su uso en la generación de avisos al piloto para posibles excursiones de pista.

La presente invención aplica una fuerza de frenado específica utilizando la funcionalidad de autofrenado del sistema de frenado de la aeronave. Cuando un piloto preselecciona una pista de rodaje en la que la aeronave saldrá de la pista designada, el control de frenado automático gestiona la desaceleración de manera que la aeronave se mueva a una velocidad preseleccionada al llegar a la salida de pista con el mínimo tiempo en la pista, dentro de las normas de seguridad y protocolo. La invención determina dinámicamente la distancia de frenado a la salida utilizando una fórmula del semiverseno modificada con una aproximación de ángulo pequeño que se reduce a un cálculo aritmético.

Para dos puntos cualesquiera de una esfera, el semiverseno del ángulo central entre ellos viene dado por

$$\text{hav}\left(\frac{d}{r}\right) = \text{hav}(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{hav}(\lambda_2 - \lambda_1)$$

donde hav es la función semiverseno:

$$\text{hav}(\theta) = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

d es la distancia entre los dos puntos (a lo largo de un círculo grande de la esfera; véase la distancia esférica),

r es el radio de la esfera (véase la figura 2),

φ_1, φ_2 : latitud del punto 1 y latitud del punto 2, en radianes

λ_1, λ_2 : longitud del punto 1 y longitud del punto 2, en radianes

Resolviendo para d, se puede obtener la fórmula siguiente:

$$d = 2r \arccos \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Ésta representa la distancia entre dos puntos de una esfera de radio r en las respectivas latitudes y longitudes. Obsérvese que, en relación con el tamaño de la tierra, para aplicaciones en las que las distancias se encuentran en la pista de un aeropuerto, entonces $|\varphi_2 - \varphi_1| \ll 1$ y $|\lambda_2 - \lambda_1| \ll 1$. Por lo tanto, la ecuación anterior puede reducirse a

$$d = 2r \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{1}{4}(\varphi_2 - \varphi_1)^2 + \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{4} (\lambda_2 - \lambda_1)^2} \right)$$

Si $|\varphi_2 - \varphi_1| \ll 1$, entonces $\varphi_2 \approx \varphi_1$ y $\cos \varphi_2 \approx \cos \varphi_1 \rightarrow \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \approx \cos^2 \varphi_1$

Esto lleva a

$$d = 2r \sin^{-1} \left(\frac{1}{2} \sqrt{(\varphi_2 - \varphi_1)^2 + (\cos \varphi_1)^2 (\lambda_2 - \lambda_1)^2} \right)$$

Aquí, el término dentro de la función $\sin^{-1}$ es mucho menor que 1 porque $(\varphi_2 - \varphi_1)^2$ y $(\lambda_2 - \lambda_1)^2$ son individualmente mucho menores que 1, y para cualquier φ_1 , $0 \leq \cos^2 \varphi_1 \leq 1$. Por lo tanto, dado que, para ángulos pequeños, α : $\alpha \approx \sin \alpha \approx \sin^{-1} \alpha$, entonces la ecuación se reduce además a

$$d = 2r \left(\frac{1}{2} \right) \sqrt{(\varphi_2 - \varphi_1)^2 + (\cos \varphi_1)^2 (\lambda_2 - \lambda_1)^2}$$

$$d = r \sqrt{(\varphi_2 - \varphi_1)^2 + (\cos \varphi_1)^2 (\lambda_2 - \lambda_1)^2}$$

Dado que $\cos^2 \varphi_1 = \frac{1}{2}[1 + \cos 2 \varphi_1]$, la ecuación también puede escribirse como

$$d = \sqrt{(\varphi_2 - \varphi_1)^2 + \frac{1}{2}[1 + \cos 2 \varphi_1](\lambda_2 - \lambda_1)^2}$$

El término coseno en esta ecuación puede ser evaluado usando una tabla de consulta de valores almacenados en la memoria del procesador del sistema de frenado, u otras aproximaciones conocidas para la función trigonométrica. Dado que este término es una constante a lo largo del recorrido de frenado, sólo tiene que ser calculado o buscado una vez al comienzo o antes del comienzo del recorrido de frenado.

Además, la función coseno puede escribirse como una serie de potencias:

$$\cos \varphi_1 = 1 - (1/2!)[\varphi_1^2] + (1/4!)[\varphi_1^4] - \dots$$

Por lo tanto, otro método para aproximar el término de coseno en el cálculo de la distancia sería calcularlo con suficiente precisión utilizando un número apropiado de términos de esta serie de potencias. Utilizando una aproximación de serie de potencias truncada para el término de coseno (realizada sólo una vez por carrera de frenado), la ecuación simplificada de la distancia se reduce por tanto a un número de cálculos aritméticos que pueden ser fácilmente manejados dinámicamente por un procesador del sistema de control de freno.

El sistema de navegación de la aeronave proporciona coordenadas de longitud y latitud, φ s y λ s, según sea necesario para completar los cálculos para la determinación de la distancia. Con la simplificación descrita anteriormente, no se necesitan cálculos iterativos y la distancia puede determinarse fácilmente de forma rápida y sin un procesamiento computacional indebido.

Para implementar un sistema de autofrenado que utiliza las aproximaciones anteriores, la figura 3 ilustra un diagrama esquemático de un procesador 50 del sistema de frenado de una aeronave que está equipado con un módulo de aproximación de distancia que utiliza la aproximación de semiverseno. El sistema de navegación 35 de la

aeronave proporciona datos geodésicos al procesador 50, que convierte los datos en una posición de la aeronave en la superficie esférica de la Tierra. Utilizando las posiciones conocidas de las salidas de pista, la distancia a la toma de tierra hasta la salida de pista puede determinarse utilizando la aproximación de la serie de potencias del coseno de θ . Una vez obtenida la distancia a la salida de pista, el procesador 50 calcula la deceleración necesaria y envía las órdenes apropiadas a un actuador de frenado 60 para aplicar una fuerza de frenado a las ruedas de la aeronave. El procesador también puede recibir datos del sensor de velocidad de las ruedas 70, y las condiciones ambientales, como el estado de la superficie de la pista, la velocidad del viento, la temperatura, la velocidad máxima, etc., de la entrada de la cabina de vuelo 80. El procesador 50 aplica todas las entradas y condiciones, y envía las órdenes de frenado al actuador de freno 60 para desacelerar la aeronave de acuerdo con el protocolo de residencia mínima.

La figura 4 ilustra un diagrama de control de flujo para un método de frenado de la aeronave según la presente invención. En el paso 100, el sistema de navegación de la aeronave proporciona una posición actual de la aeronave utilizando datos geodésicos. En el paso 110, el sistema de frenado determina una distancia desde su ubicación actual hasta una salida de pista predeterminada a partir de los datos geodésicos utilizando una fórmula del semiverseno. Una vez obtenida la distancia, el sistema de frenado genera en el paso 120 la cinemática deseada para que la aeronave se desplace desde la toma de tierra hasta la salida de la pista que minimiza el tiempo de permanencia de la aeronave en la pista. En el paso 130, el perfil de velocidad se utiliza para generar órdenes de frenado de las ruedas de la aeronave utilizando la determinación de la distancia y la velocidad y posición actuales de la aeronave. Las órdenes de frenado se comunican en el paso 140 al actuador de freno, que a su vez aplica una fuerza de frenado a las ruedas de la aeronave coherente con el perfil de velocidad en el paso 150. Obsérvese que, preferiblemente, se pueden incorporar otras entradas al procesador para determinar el perfil de velocidad, incluidas las condiciones meteorológicas actuales, las condiciones de la superficie de la pista, el peso de la aeronave, etc.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de frenado para reducir la velocidad de una aeronave (10), que comprende
 - 5 un procesador, incluyendo una memoria para almacenar un programa para calcular parámetros de frenado;
 - un sensor de velocidad de las ruedas que comunica con el procesador;
 - 10 un actuador de frenado que responde a las órdenes del procesador;
 - un sistema de navegación de aeronave que proporciona al procesador datos de posición actual de la aeronave y datos de posición para uno de una salida de pista deseada (30) y un final de una pista (20) en forma de coordenadas de longitud y latitud;
 - 15 **caracterizado porque**
el procesador utiliza una simplificación de ángulos pequeños para la fórmula de semiverseno a fin de estimar la distancia entre una posición actual y dicho uno de la salida de pista deseada (30) y el final de la pista (20); y
 - 20 el procesador ordena al actuador de frenado que reduzca la velocidad de la aeronave (10) en base al cálculo de la distancia entre la posición actual y la salida deseada de pista (30), genera un perfil de desaceleración y emite una señal de aviso si existe la posibilidad de que se produzca un rebasamiento/excursión de pista, o bien ordena al actuador de frenado que inicie una fuerza máxima de frenado cuando el procesador determina que la aeronave (10) experimentará un rebasamiento/excursión de pista.
 - 25 2. Un sistema de frenado para reducir la velocidad de una aeronave (10) de la reivindicación 1, en el que el sistema de frenado utiliza una posición de salida preseleccionada para determinar la reducción de velocidad de la aeronave por parte del actuador de frenado para minimizar un tiempo de residencia en una pista (20).
 - 30 3. Un sistema de frenado de la reivindicación 1, en el que la estimación de la distancia entre la posición actual y dicho uno de la salida de pista deseada (30) y el final de la pista (20) calcula el coseno del ángulo de latitud utilizando una de una serie de potencias truncada y una tabla de consulta.
 - 35 4. Un sistema de frenado de la reivindicación 1, en el que el perfil de deceleración y la señal de aviso se generan antes y después de que la aeronave (10) tome tierra en la pista (20).
 5. Un sistema de frenado de la reivindicación 1, en el que se genera una señal de aviso cuando el procesador determina que la aeronave (10) experimentará un rebasamiento/excursión de pista.
 - 40 6. Un método para ajustar la desaceleración instantánea de una aeronave (10) para minimizar la permanencia de una aeronave (10) en una pista (20), que comprende
obtener una posición actual de la aeronave (10) después de la toma de tierra utilizando datos geodésicos; y
 - 45 generar un perfil de desaceleración para que la aeronave (10) se desplace desde la toma de tierra hasta una salida deseada de pista (30) con una velocidad de rodaje de salida deseada; **caracterizado por**
determinar una distancia desde una ubicación actual hasta una salida de pista (30) a partir de los datos geodésicos utilizando una derivación de ángulo pequeño de la fórmula de semiverseno para la estimación de la distancia;
 - 50 generar un perfil de desaceleración utilizando la determinación de la distancia y la velocidad y posición actuales de la aeronave (10);
y ordenar a un actuador de freno en base al perfil de desaceleración generado.
 - 55 7. Un método de la reivindicación 6, que comprende además:
generar un perfil de desaceleración y emitir una señal de aviso a la cabina de mando si existe la posibilidad de un rebasamiento/excursión de pista.
 - 60 8. Un método de la reivindicación 7, en el que el perfil de desaceleración y la señal de aviso se generan antes y después de que la aeronave (10) tome tierra en la pista (20).
 - 65 9. Un método de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el cálculo de la distancia entre la posición actual y la salida de pista deseada (30) o el final de la pista (20) calcula el coseno del ángulo de latitud utilizando una de una serie de potencias truncada y una tabla de consulta.

10. Un método de la reivindicación 6, que comprende además:

- 5 proporcionar un procesador, incluyendo una memoria para almacenar un programa para calcular parámetros de frenado;
- situar un sensor de velocidad de rueda adyacente a una rueda del tren de aterrizaje para comunicar con el procesador;
- 10 proporcionar un actuador de frenado que responda a las órdenes del procesador;
- incorporar un sistema de navegación de la aeronave que proporcione datos de posición actual de la aeronave y datos de posición para un final de pista (20) al procesador en forma de coordenadas de longitud y latitud;
- 15 utilizar la simplificación del ángulo pequeño para la fórmula de semiverseno para calcular la distancia entre la posición actual y el final de la pista; y
- ordenar al actuador de frenado que inicie una fuerza máxima de frenado cuando el procesador determine que la aeronave (10) experimentará un rebasamiento/excursión de pista (20).
- 20 11. Un método de la reivindicación 10, en el que el cálculo de la distancia entre la posición actual y el final de pista (20) computa el coseno del ángulo de latitud utilizando una de una serie de potencias truncada y una tabla de consulta.
- 25 12. Un método de la reivindicación 10, que incluye además el paso de generar una señal de aviso cuando el procesador determina que la aeronave (10) experimentará un rebasamiento/excursión de pista (20).

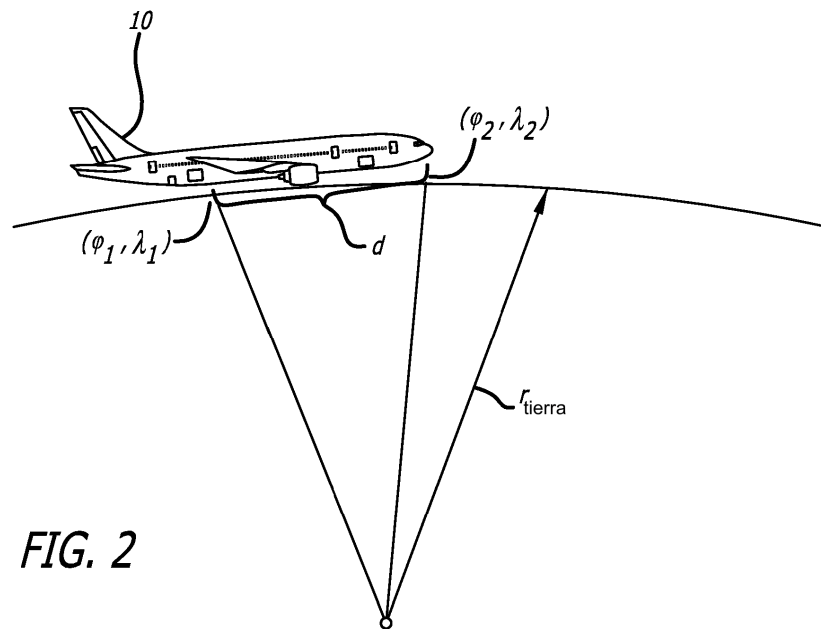
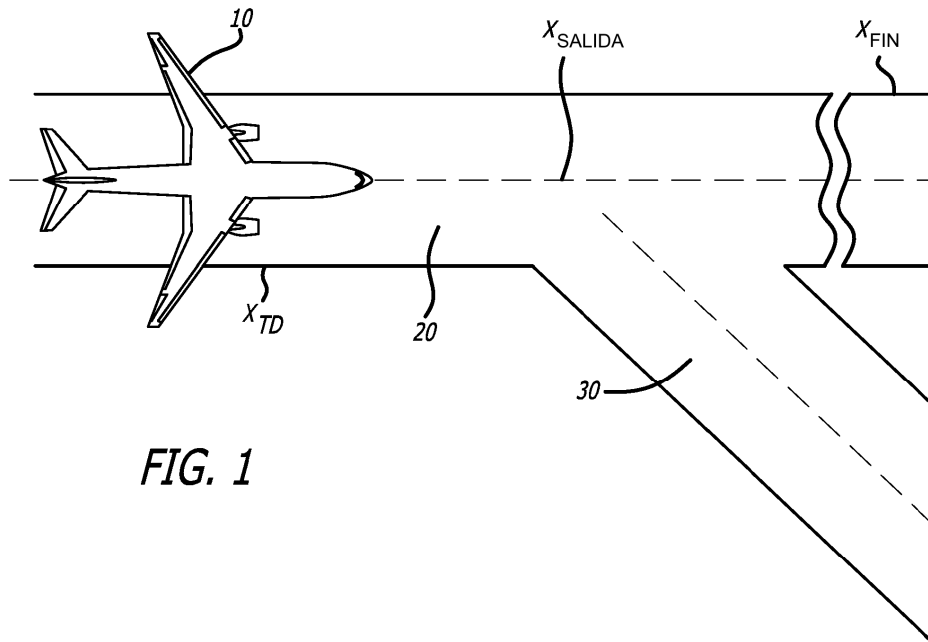


FIG. 3

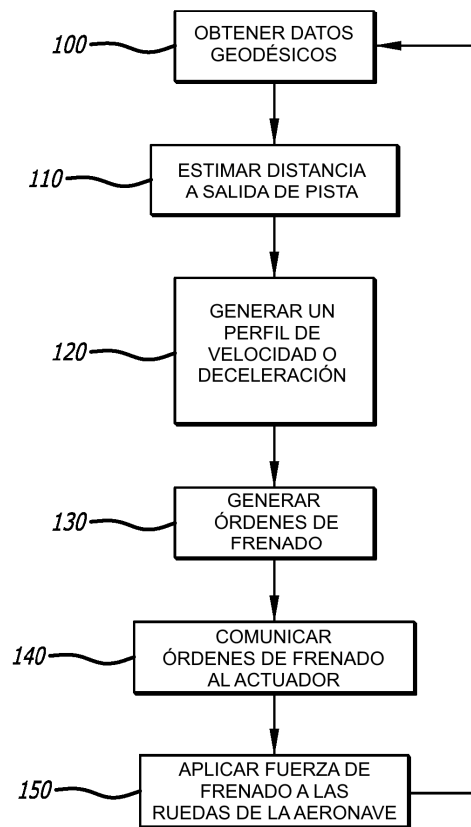
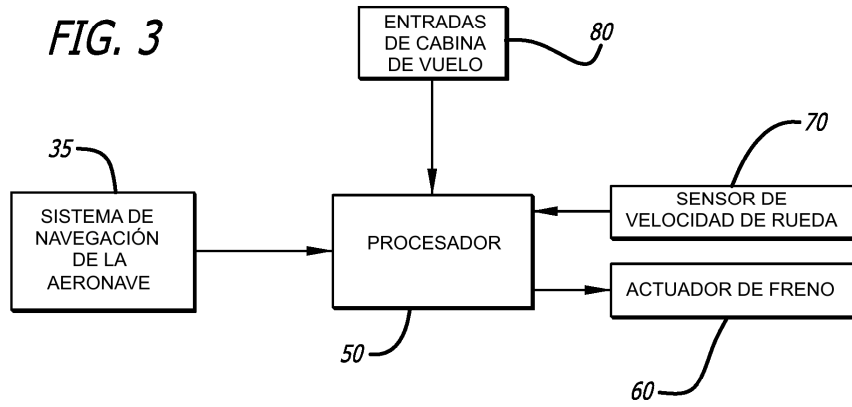


FIG. 4