

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 830**

51 Int. Cl.:

G01P 13/00 (2006.01)

G01P 5/26 (2006.01)

G01P 13/02 (2006.01)

G01S 17/58 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2011 E 11804947 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2015 EP 2659276**

54 Título: **Detector óptico de ángulo de ataque basado en detección y medición de distancias por luz (LIDAR) para controlar una superficie aerodinámica**

30 Prioridad:

30.12.2010 US 981851

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

04.09.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

WESTERGAARD, CARSTEN HEIN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 544 830 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

Detector óptico de ángulo de ataque basado en detección y medición de distancias por luz (LIDAR) para controlar una superficie aerodinámica

Antecedentes de la invención

5 Campo de la invención

Las realizaciones de la invención se refieren en general a perfiles aerodinámicos y, más particularmente, a determinar ópticamente un ángulo de ataque usando detección y medición de distancias por luz (LIDAR).

Descripción de la técnica relacionada

10 En las máquinas aeroelásticas de alto rendimiento modernas, tales como turbinas eólicas o aeronaves de alto rendimiento, cada vez se está haciendo más importante controlar las fuerzas aerodinámicas conjuntamente con la respuesta aeroelástica a través de la manipulación activa. Un control de este tipo puede lograrse no sólo mediante medios aerodinámicos (por ejemplo, ajustando un ángulo de uno o más flaps en una sección de perfil de o bien una pala de turbina eólica o bien un ala de avión), sino también mediante, por ejemplo, el control del paso de la pala o la velocidad de rotación del rotor de turbina eólica.

15 En los controles del estado de la técnica, a menudo se generan señales sensoriales a partir de las propiedades de desviación de una estructura mediante medidores de tensión, sensores de desplazamiento o acelerómetros. Aunque se trata de métodos sólidos, estas señales se filtran a las frecuencias de respuesta naturales para la estructura, que son órdenes de magnitud más lentas que la respuesta aerodinámica. Puesto que los métodos de control cada vez son más sofisticados, la demanda de comprensión en tiempo real de las fuerzas de entrada puede conducir a mejoras sustanciales en las estrategias de control y su efecto sobre la gestión de la estructura.

20 La solicitud de patente US 2009/0046289 da a conocer un sistema óptico de datos aéreos (OADS) que puede usarse para determinar el ángulo de ataque e información de velocidad relativa del viento en la pala de un sistema de energía eólica. Para determinar el ángulo de ataque, el sistema calcula la velocidad del viento y la dirección del viento a partir de tres mediciones con láser Doppler independientes.

25 Sumario de la invención

Las realizaciones de la invención se refieren en general a métodos y aparatos para determinar un ángulo de ataque usando detección y medición de distancias por luz (LIDAR) en un esfuerzo por controlar de manera precisa una superficie aerodinámica en un sistema de respuesta aeroelástica.

30 Una realización de la presente invención proporciona un método de determinación de un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico en un fluido fluyente, en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección de flujo del fluido y una cuerda del perfil aerodinámico. El método incluye generalmente emitir un haz luminoso desde un borde de ataque del perfil aerodinámico al interior del fluido con un ángulo de emisión, en el que el haz luminoso se retrodispersa por partículas en el fluido, recibir una parte de la luz retrodispersada con el ángulo de emisión, y determinar el ángulo de ataque para el perfil aerodinámico basándose en la parte recibida de la luz retrodispersada.

35 Otra realización de la presente invención proporciona un sistema. El sistema incluye generalmente un perfil aerodinámico y al menos un procesador. El perfil aerodinámico normalmente incluye un emisor de luz configurado para emitir un haz luminoso desde un borde de ataque del perfil aerodinámico al interior de un fluido fluyente con un ángulo de emisión, en el que el haz luminoso se retrodispersa por partículas en el fluido, y un receptor óptico configurado para recibir una parte de la luz retrodispersada con el ángulo de emisión. El procesador está configurado generalmente para determinar un ángulo de ataque para el perfil aerodinámico basándose en la parte recibida de la luz retrodispersada, en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección de flujo del fluido y una cuerda del perfil aerodinámico.

45 Aún otra realización de la presente invención proporciona un generador de turbina eólica. El generador de turbina eólica incluye generalmente una torre, una góndola acoplada a la torre, un rotor que comprende una pluralidad de palas y configurado para hacer rotar un árbol dispuesto parcialmente en la góndola cuando el viento impulsa las palas, y al menos un procesador. La al menos una de las palas normalmente incluye un emisor de luz configurado para emitir un haz luminoso desde un borde de ataque de la al menos una de las palas al viento con un ángulo de emisión, en el que el haz luminoso se retrodispersa por partículas en el viento; y un receptor óptico configurado para recibir una parte de la luz retrodispersada con el ángulo de emisión. El al menos un procesador está configurado para determinar un ángulo de ataque para la al menos una de las palas basándose en la parte recibida de la luz retrodispersada, en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección del viento y una cuerda de la al menos una de las palas.

Breve descripción de los dibujos

Para que puedan entenderse en detalle las características citadas anteriormente de la presente invención, una

descripción más particular de la invención, resumida antes brevemente, puede facilitarse como referencia a las realizaciones, algunas de las cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Ha de observarse, sin embargo, que los dibujos adjuntos ilustran sólo las realizaciones típicas de esta invención y por tanto no han de considerarse limitativos de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

5 La figura 1 ilustra una vista esquemática de un generador de turbina eólica, según una realización de la invención.

La figura 2 ilustra una vista esquemática de los componentes internos de la góndola y la torre de un generador de turbina eólica, según una realización de la invención.

La figura 3 ilustra un perfil aerodinámico y el ángulo de ataque para el perfil aerodinámico, según una realización de la invención.

10 La figura 4 ilustra dos haces de láser emitidos con diferentes ángulos desde el borde de ataque de un perfil aerodinámico para representar por qué el ángulo de ataque corresponde a la velocidad máxima, según una realización de la invención.

La figura 5 ilustra el uso de un espejo para emitir secuencialmente el haz luminoso con ángulos de emisión diferentes desde el borde de ataque del perfil aerodinámico en un esfuerzo por efectuar un barrido, según una
15 realización de la invención.

La figura 6 ilustra múltiples haces luminosos que se exploran usando un espejo de barrido, según una realización de la invención.

La figura 7 ilustra el uso de un modulador acústico-óptico (AOM) para emitir el haz luminoso con ángulos de emisión diferentes desde el borde de ataque del perfil aerodinámico para efectuar un barrido de manera electroóptica, según
20 una realización de la invención.

La figura 8 ilustra el uso de un multiplexador óptico para generar múltiples haces para su emisión con diferentes ángulos desde el borde de ataque del perfil aerodinámico, según una realización de la invención.

La figura 9 ilustra el uso de un prisma para separar un haz luminoso en una pluralidad de haces luminosos que tienen longitudes de onda diferentes y emitidos desde el borde de ataque del perfil aerodinámico con diferentes
25 ángulos, según una realización de la invención.

La figura 10 es un diagrama de flujo de operaciones a modo de ejemplo para determinar un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico en un fluido fluyente, según una realización de la invención.

Descripción detallada

30 Las realizaciones de la invención proporcionan técnicas y aparatos para detectar ópticamente un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico usando detección y medición de distancias por luz (LIDAR). Para determinar el ángulo de ataque, se emiten uno o más pulsos de haz luminoso desde el borde de ataque del perfil aerodinámico al interior de un fluido fluyente (aparentemente) con diversos ángulos de emisión. Los pulsos emitidos pueden retrodispersarse por partículas en el fluido, y la luz retrodispersada puede recibirse por un detector en el perfil aerodinámico.
35 Mediante la aplicación de regulación de la distancia (*range gating*) a los pulsos de retorno de luz retrodispersada, puede determinarse una velocidad de fluido para cada uno de los ángulos de emisión. El ángulo de ataque se identifica como el ángulo de emisión correspondiente a la velocidad máxima del fluido. Puede controlarse un parámetro (por ejemplo, paso o velocidad) del perfil aerodinámico basándose en el ángulo de ataque. De esta manera, puede moverse el perfil aerodinámico o puede ajustarse la forma del perfil aerodinámico para obtener un rendimiento aumentado o una eficacia aumentada.

40 Tal como se usa en el presente documento, un perfil aerodinámico se refiere en general a una superficie conformada diseñada para desarrollar una fuerza deseada mediante la reacción con un fluido que fluye a través de la superficie. El flujo de fluido puede producirse por el movimiento del propio fluido o puede ser un flujo de fluido aparente debido al movimiento del perfil aerodinámico a través del fluido. Aunque las realizaciones de la invención se refieren principalmente a una pala de rotor de un generador de turbina eólica como perfil aerodinámico, los conceptos
45 descritos en el presente documento pueden aplicarse a cualquier perfil aerodinámico. Los ejemplos de otros perfiles aerodinámicos incluyen un ala de aeronave, una pala de rotor de helicóptero, una pala de hélice para un barco o un avión, una pala de turbina hidráulica, o una vela.

Un generador de turbina eólica de ejemplo

50 La figura 1 ilustra una vista esquemática de un generador de turbina eólica de eje horizontal 100. El generador de turbina eólica 100 normalmente comprende una torre 102 y una góndola de turbina eólica 104 ubicada en la parte superior de la torre 102. Un rotor de turbina eólica 106 puede estar conectado con la góndola 104 a través de un árbol de baja velocidad que se extiende fuera de la góndola 104. Tal como se muestra, el rotor de turbina eólica 106 comprende tres palas de rotor 108 montadas en un buje 110 común, pero puede comprender cualquier número adecuado de palas, tales como una, dos, cuatro, cinco, o más palas. Como perfil aerodinámico accionado por la

fuerza del viento, la pala 108 normalmente tiene una forma aerodinámica con un borde de ataque 112 para orientarse hacia el viento, un borde de salida 114 en el lado opuesto de una cuerda para la pala 108, una punta 116 y una raíz 118 para unirse al buje 110 de cualquier manera adecuada.

5 Para algunas realizaciones, las palas 108 pueden estar conectadas con el buje 110 usando cojinetes de ajuste de paso 120 de manera que cada pala 108 puede hacerse rotar alrededor de su eje longitudinal para ajustar el paso de la pala. El ángulo de paso de una pala 108 puede controlarse mediante actuadores lineales o motores de velocidad gradual, por ejemplo, conectados entre el buje 110 y la pala.

10 La figura 2 ilustra una vista esquemática de componentes típicos internos de la góndola 104 y la torre 102 de un generador de turbina eólica 100. Cuando el viento 200 impulsa las palas 108, el rotor 106 gira, haciendo rotar de ese modo un árbol de baja velocidad 202. Los engranajes en una caja de engranajes 204 convierten mecánicamente la baja velocidad de rotación del árbol de baja velocidad 202 en una velocidad de rotación relativamente alta de un árbol de alta velocidad 208 adecuado para generar electricidad usando un generador 206.

15 Un controlador 210 puede detectar la velocidad de rotación de uno o ambos de los árboles 202, 208. Si el controlador decide que el/los árbol(es) está(n) rotando demasiado rápido, el controlador puede indicar a un sistema de frenado 212 que ralentice la rotación de los árboles, lo que a su vez ralentiza la rotación del rotor 106. El sistema de frenado 212 puede evitar el daño a los componentes del generador de turbina eólica 100. El controlador 210 también puede recibir entradas desde un anemómetro 214 (que proporciona la velocidad del viento) y/o una veleta 216 (que proporciona la dirección del viento). Basándose en la información recibida, el controlador 210 puede enviar una señal de control a una o más de las palas 108 en un esfuerzo por ajustar el paso 218 de las palas. Mediante el
20 ajuste del paso 218 de las palas con respecto a la dirección del viento, puede aumentarse o disminuirse la velocidad de rotación del rotor (y por tanto, de los árboles 202, 208). Basándose en la dirección del viento, por ejemplo, el controlador 210 puede enviar una señal de control a un conjunto que comprende un motor de orientación 220 y un mecanismo de orientación 222 para hacer rotar la góndola 104 con respecto a la torre 102, de manera que el rotor 106 pueda colocarse para orientarse más (o, en determinadas circunstancias, menos) a barlovento.

25 Detección de ángulo de ataque de ejemplo

Con el fin de aumentar la eficacia (por ejemplo, la eficacia de conversión de energía) o el rendimiento (por ejemplo, la velocidad) asociado con un perfil aerodinámico, es importante conocer el ángulo de ataque para el perfil aerodinámico en el fluido que fluye. Conociendo el ángulo de ataque y la velocidad de flujo del fluido, pueden determinarse las fuerzas que actúan sobre el perfil aerodinámico mediante una tabla de consulta, por ejemplo, lo
30 que proporciona los coeficientes de sustentación, resistencia aerodinámica y momento de paso.

La figura 3 ilustra un perfil aerodinámico 300 en sección transversal y el ángulo de ataque (α) para el perfil aerodinámico. La línea de curvatura media (no mostrada) de un perfil aerodinámico es el lugar de puntos a medio camino entre las superficies superior e inferior del perfil aerodinámico tal como se mide en perpendicular a la propia línea de curvatura media. El borde de ataque 302 es el punto más delantero de la línea de curvatura media, mientras que el borde de salida 304 es el punto más trasero. La línea recta que conecta el borde de ataque 302 con el borde de salida 304 es la cuerda 306 del perfil aerodinámico. Tal como se usa en el presente documento, el borde de ataque 302 se refiere en general al área de la superficie de perfil aerodinámico alrededor del punto más delantero de la línea de curvatura media, más que el punto exacto en un extremo de la cuerda 306. El ángulo de ataque (α) para el perfil aerodinámico se refiere en general al ángulo entre la dirección de flujo aparente (también conocida como dirección de flujo relativa) del fluido y una línea de referencia. Para los fines de la presente descripción, se usará la cuerda 306 del perfil aerodinámico como línea de referencia, aunque pueden usarse otras referencias apropiadas. Por ejemplo, si el perfil aerodinámico 300 está moviéndose en un fluido fluyente, tal como el viento, entonces el ángulo de ataque se refiere al ángulo entre el viento aparente (también conocido como viento relativo) y la cuerda 306 del perfil aerodinámico.

45 La velocidad de flujo nominal del fluido se representa en la figura 3 como vector \vec{U}_o . Sin embargo, el perfil aerodinámico altera el fluido fluyente, tal como se muestra mediante las líneas de corriente 308 en la figura 3. Cerca del borde de ataque 302 del perfil aerodinámico 300 (por ejemplo, en el área 310), la dirección de la velocidad de flujo puede ser diferente de la dirección de flujo nominal de \vec{U}_o . Por tanto, el ángulo de ataque puede ser inexacto si se mide dentro del arco 312 a un radio determinado desde el borde de ataque 302.

50 Por ejemplo, un anemómetro láser Doppler (LDA), también conocido como velocímetro láser Doppler (LDV), emite simultáneamente dos haces de láser enfocados por una lente de manera que los dos haces intersectan en una región denominada el volumen de medición. En el volumen de medición, la interferencia de los haces de láser crea un conjunto de franjas equidistantes que son paralelas al bisector de los haces. Cuando las partículas suspendidas por el fluido pasan a través de las franjas, la luz se dispersa en una cantidad que fluctúa a medida que las partículas se desplazan a través de las franjas. La frecuencia de la fluctuación (la desviación Doppler) es por tanto proporcional
55 a la velocidad de la partícula normal a las franjas, de manera que puede deducirse la dirección y la magnitud absoluta de la velocidad de las partículas (y por tanto, del fluido) en el plano que definen los dos haces.

- 5 Sin embargo, puesto que la distancia entre las franjas (es decir, la distancia de franjas d_f) es una función de la longitud de onda del haz de láser y el ángulo entre los haces, un inconveniente principal de la solución de LDA es que se requiere un ángulo relativamente grande entre los dos haces con el fin de obtener un resultado. Un ángulo grande de este tipo normalmente demanda una gran ventana (o apertura), lo que puede alterar el flujo de aire alrededor de la superficie y aumentar la vulnerabilidad del sistema. Tal como se describió anteriormente con respecto a la figura 3, se producen cambios relativamente grandes en la dirección del flujo de fluido cerca del perfil aerodinámico 300. Por tanto, el uso de datos procedentes del LDA puede requerir el conocimiento previo del campo de flujo alrededor del perfil aerodinámico, de manera que el LDA puede no funcionar como un instrumento independiente para medir la velocidad de flujo (y el ángulo de ataque).
- 10 Por consiguiente, lo que se necesita son técnicas y aparatos para detectar de manera exacta un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico sin necesidad de conocimiento previo del campo de flujo alrededor del perfil aerodinámico. Idealmente, estas técnicas y aparatos no deben alterar el flujo de fluido alrededor del perfil aerodinámico, y una ventana pequeña resulta ventajosa.
- 15 Mediante el uso de detección y medición de distancias por luz (LIDAR) donde se emite un haz luminoso al interior de un fluido fluyente, se retrodispersa por partículas en el fluido, y una parte de la luz retrodispersada se recibe con el mismo ángulo de emisión (de manera que el haz luminoso se emite y se recibe a lo largo de una única línea), puede detectarse ópticamente un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico mediante el uso de diversos ángulos de emisión. Para este tipo de LIDAR (conocido como LIDAR de retrodispersión elástica), la longitud de onda transmitida del haz luminoso transmitido puede ser sustancialmente igual a una longitud de onda retrodispersada de la luz retrodispersada, en contraposición a las longitudes de onda desviadas por Doppler en la solución de LDA.
- 20 Fundamentalmente, se emiten uno o múltiples haces de láser desde el borde de ataque 302 del perfil aerodinámico 300. O bien mediante la exploración de la dirección angular en relación con la cuerda 306 o bien mediante la detección desde múltiples direcciones, puede determinarse la dirección de la velocidad de cabeza máxima. La velocidad de cabeza máxima corresponde a una situación de flujo no transversal a través del haz de láser emitido (es decir, una situación en la que el vector del flujo de fluido y un vector para la luz retrodispersada con el ángulo de emisión se encuentran a lo largo de la misma línea, en contraposición con una situación de flujo transversal en la que el vector del flujo de fluido y el vector de la luz retrodispersada con el ángulo de emisión intersecan), indicando de ese modo el ángulo de ataque.
- 25 La figura 4 ilustra dos haces de láser emitidos o bien de manera secuencial o de manera simultánea con ángulos de emisión diferentes desde el borde de ataque 302 de un perfil aerodinámico 300 para representar por qué el ángulo de ataque corresponde a la velocidad máxima. Cuando se emite un primer haz de láser 402 desde el borde de ataque 302 con un ángulo de emisión θ con respecto a la cuerda 306 y se retrodispersa a partir de una partícula 404 que se desplaza a \vec{U}_o con la velocidad y dirección del fluido fluyente, la magnitud de la parte retrodispersada de la luz recibida con el ángulo de emisión θ indica una primera velocidad de flujo medida \vec{U}_{m1} . Cuando se emite un segundo haz de láser 406 desde el borde de ataque 302 con un ángulo de emisión igual al ángulo de ataque (α) y se retrodispersa a partir de una partícula 408 que se desplaza a \vec{U}_o con la velocidad y dirección del fluido fluyente, la magnitud de la parte retrodispersada de la luz recibida con el ángulo de emisión α es máxima e indica una segunda velocidad de flujo medida $\vec{U}_{m2} = \vec{U}_o$. En otras palabras, la magnitud de la parte retrodispersada con el ángulo de emisión θ es inferior a la magnitud de la parte retrodispersada con el ángulo de ataque α debido al flujo transversal de la partícula que se desplaza.
- 30 Haciendo referencia ahora a la figura 5, un emisor de luz 500, tal como un diodo láser u otra fuente de emisión de haz de láser, puede emitir un haz luminoso 501 para su emisión desde el borde de ataque 302 (o cerca del borde de ataque si no es el punto más delantero exacto en la línea de curvatura media) del perfil aerodinámico 300. El haz luminoso 501 puede reflejarse desde un espejo 502 hasta un espejo de exploración 504 configurado para rotar de manera que la luz puede emitirse secuencialmente desde el borde de ataque 302 con ángulos de emisión diferentes a medida que rota el espejo de exploración 504. Al dirigir el haz luminoso 501 de esta manera, puede efectuarse un barrido para determinar el ángulo de ataque. El haz luminoso puede emitirse como uno o más pulsos de luz con cada uno de los ángulos de emisión, y puede usarse regulación de la distancia para detectar la retrodispersión a partir de partículas en diferentes puntos de detección 506 en el fluido.
- 35 Para algunas realizaciones, el emisor de luz 500 (y el receptor óptico) están ubicados dentro del perfil aerodinámico 300 para evitar alterar el fluido fluyente. La emisión de luz puede producirse a través de una ventana transparente 508 ubicada en el borde de ataque 302. Preferiblemente, la ventana 508 no altera (o altera mínimamente) el flujo de fluido alrededor del perfil aerodinámico.
- 40 De manera similar a la realización en la figura 5, la figura 6 ilustra múltiples haces luminosos 601 que se exploran usando un espejo de barrido 602, según otra realización de la invención. El espejo de barrido 602 en la figura 6 puede funcionar de manera similar al espejo de exploración 504 en la figura 5, que rota para efectuar un barrido con
- 45
- 50
- 55

- ángulos de emisión diferentes. Sin embargo, en esta realización, las pruebas de los ángulos de emisión diferentes para determinar el ángulo de ataque se producen tanto de manera simultánea (mediante el uso de múltiples haces emitidos con diferentes ángulos) como de manera secuencial (mediante el ajuste del espejo de barrido 602 para lograr un nuevo conjunto de ángulos de emisión para los múltiples haces). De este modo, el ángulo de ataque puede determinarse de manera más rápida y exacta que en la realización de la figura 5, o pueden someterse a prueba más ángulos de emisión en la misma cantidad de tiempo que un barrido en la realización de la figura 5 para una determinación más precisa y exacta.
- La figura 7 ilustra el uso de un modulador acústico-óptico (AOM) 700, tal como una célula de Bragg, para emitir el haz luminoso con ángulos de emisión diferentes desde el borde de ataque 302 del perfil aerodinámico 300 para efectuar un barrido de manera electroóptica, según una realización de la invención. Un AOM usa el efecto acústico-óptico para difractar y cambiar la frecuencia del haz luminoso incidente 501 usando ondas de sonido (habitualmente a radiofrecuencia). Puede usarse una lente 702 para refractar un haz luminoso difractado 703 recibido desde el AOM para generar ángulos de emisión diferentes. Una ventaja de esta realización es la falta de partes móviles en comparación con otras realizaciones, tales como las descritas con respecto a las figuras 5 y 6.
- La figura 8 ilustra el uso de un multiplexador óptico 802 para generar múltiples haces para su emisión con diferentes ángulos desde el borde de ataque 302 del perfil aerodinámico 300, según una realización de la invención. El multiplexador óptico 802 puede crear múltiples haces a longitudes de onda diferentes, que se encaminan a través de fibras ópticas 803 hacia una terminación 804 para emitir un haz luminoso desde cada una de las fibras ópticas. Los haces luminosos 805 pueden refractarse por una lente 806 para generar ángulos de emisión diferentes. Esta realización no sólo elimina las partes móviles, sino que también permite separar al menos una parte del sistema de emisión (por ejemplo, el emisor de luz 500 y el multiplexador óptico 802) del borde de ataque 302. Por ejemplo, esta parte del sistema de emisión puede disponerse en la raíz 118 de la pala de turbina eólica 108, mientras que las fibras ópticas 803 pueden encaminarse en la pala hacia una parte restante del sistema de emisión (por ejemplo, la terminación 804 y la lente 806) que se dispone cerca del borde de ataque 302. De esta manera, puede revisarse más fácilmente la parte del sistema de emisión dispuesta en la raíz.
- La figura 9 ilustra el uso de un prisma 902 para separar un haz luminoso 501 en una pluralidad de haces luminosos 904 que tienen longitudes de onda diferentes y emitidos desde el borde de ataque 302 del perfil aerodinámico 300 con diferentes ángulos, según una realización de la invención. De esta manera, se emiten simultáneamente múltiples haces luminosos con ángulos de emisión diferentes con el fin de detectar el ángulo de ataque. Esta realización también ofrece la ventaja de no tener partes móviles en el sistema de emisión.
- La figura 10 es un diagrama de flujo de operaciones a modo de ejemplo 1000 para determinar un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico en un fluido fluyente, según una realización de la invención. Las operaciones 1000 pueden realizarse por un generador de turbina eólica, por ejemplo. Las operaciones 1000 pueden comenzar, en 1002, emitiendo un haz luminoso desde el borde de ataque del perfil aerodinámico al interior del fluido fluyente con un ángulo de emisión. El haz luminoso emitido puede retrodispersarse por partículas en el fluido (por ejemplo, por polvo y/o gotas de agua arrastrados por el aire). En 1004, puede recibirse una parte de la luz retrodispersada con el ángulo de emisión. Esta recepción puede realizarse por un fotodetector o un fotomultiplicador, por ejemplo. Para algunas realizaciones, pueden emitirse secuencialmente uno o más pulsos del haz luminoso (o pueden emitirse simultáneamente pulsos desde múltiples haces luminosos) con una pluralidad de ángulos de emisión diferentes. Para tales realizaciones, la parte de los pulsos de luz retrodispersada puede recibirse con cada uno de los ángulos de emisión.
- El ángulo de ataque (α) para el perfil aerodinámico puede determinarse en 1006 basándose en la parte recibida de la luz retrodispersada, en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección de flujo del fluido y una cuerda del perfil aerodinámico correspondiente al borde de ataque. Para algunas realizaciones que usan pulsos de luz emitidos con una pluralidad de ángulos de emisión, el ángulo de ataque puede determinarse determinando una velocidad del fluido para cada uno de los ángulos de emisión basándose en la aplicación de regulación de la distancia a los pulsos de luz retrodispersados recibidos con cada uno de los ángulos de emisión. En estas realizaciones, el ángulo de ataque puede considerarse e identificarse como uno de los ángulos de emisión con el que la velocidad del fluido es máxima.
- Una vez que se conoce el ángulo de ataque, junto con la velocidad, pueden determinarse las fuerzas que actúan sobre el perfil aerodinámico usando una tabla de consulta, por ejemplo, que describe los coeficientes de sustentación, resistencia aerodinámica y momento de paso. Para algunas realizaciones, puede controlarse un parámetro del perfil aerodinámico en 1008 basándose en el ángulo de ataque en un esfuerzo por aumentar la eficacia o el rendimiento, o en algunos casos, reducir el ruido acústico. El parámetro puede incluir el paso, la velocidad o la forma del perfil aerodinámico, por ejemplo. Por ejemplo, si el perfil aerodinámico es una pala 108 de un generador de turbina eólica, el paso 218 puede ajustarse, la velocidad del rotor 106 (y por tanto, de las palas 108) puede modificarse usando el sistema de frenado 212, o la forma de la pala 108 puede cambiarse moviendo uno o más flaps en el borde de salida 114 de la pala 108.
- O bien colocando cualquiera de los sistemas de LIDAR descritos en el presente documento en una ubicación estratégica en el perfil aerodinámico (por ejemplo, en una pala 108 a aproximadamente 2/3 del radio del rotor 106) o

- 5 bien teniendo múltiples sistemas de LIDAR descritos en el presente documento a lo largo del borde de ataque 302, el conocimiento de las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el perfil aerodinámico puede dirigirse a uno o más procesadores, tal como un controlador del sistema. Para algunas realizaciones, un primer procesador para determinar el ángulo de ataque puede estar ubicado en la pala 108 u otra parte del rotor 106, mientras que un segundo procesador para controlar el parámetro de la pala 108 basándose en el ángulo de ataque puede estar ubicado en la góndola 104. En combinación con una determinación del estado modal (por ejemplo, desviación de la raíz de la pala y desviación de la torre), la determinación de la fuerza aerodinámica es clave y puede proporcionar la mejor entrada posible para que el controlador (por ejemplo, el controlador 210) realice ajustes con respecto al paso, la velocidad, la forma del/de los perfil(es) aerodinámico(s), etc.
- 10 Aunque anteriormente se ha descrito LIDAR basado en retrodispersión a partir de partículas suspendidas en un fluido, las realizaciones de la invención pueden basarse en la retrodispersión de la luz a partir de otros fenómenos físicos. Éstos pueden incluir, por ejemplo, gradientes de temperatura o gradientes de presión en el fluido fluyente.

Conclusión

- 15 Las realizaciones de la presente invención proporcionan diversas técnicas y aparatos adecuados para detectar ópticamente un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico usando LIDAR. Tales técnicas proporcionan un método óptico no intrusivo que evita alterar el flujo de fluido, lo que podría conducir a mediciones inexactas, ineficacia o degradación del rendimiento. Por tanto, las técnicas ópticas descritas en el presente documento pueden proporcionar ventajas con respecto a las técnicas intrusivas actuales que usan un tubo de Pitot de 5 orificios, una veleta y similares. Además, las realizaciones de la invención pueden emplear fibras ópticas para lanzar y recibir las mediciones, eliminando o reduciendo de ese modo los componentes electrónicos en el perfil aerodinámico para este fin.
- 20 Aunque lo anterior se refiere a realizaciones de la presente invención, pueden idearse otras realizaciones y realizaciones adicionales de la invención sin apartarse del alcance básico de la misma, y el alcance de la misma se determina por las reivindicaciones siguientes.

25

REIVINDICACIONES

1. Método de determinación de un ángulo de ataque para un perfil aerodinámico (300) en un fluido fluyente, en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección de flujo del fluido y una cuerda (306) del perfil aerodinámico, comprendiendo el método:
 - 5 emitir un haz luminoso desde un borde de ataque (302) del perfil aerodinámico (300) al interior del fluido con una pluralidad de ángulos de emisión, en el que el haz luminoso se retrodispersa por partículas en el fluido;
 - 10 recibir una parte de la luz retrodispersada con cada uno de los ángulos de emisión; y
 - 15 determinar el ángulo de ataque para el perfil aerodinámico basándose en las partes recibidas de la luz retrodispersada, mediante la determinación de una velocidad del fluido para cada uno de los ángulos de emisión basándose en la radiación retrodispersada desde las partículas en el fluido con cada uno de los ángulos de emisión, e identificando el ángulo de ataque como uno de los ángulos de emisión con el que la velocidad del fluido es máxima.
 2. Método según la reivindicación 1, en el que emitir el haz luminoso comprende emitir secuencialmente el haz luminoso con la pluralidad de ángulos de emisión.
 3. Método según la reivindicación 1, en el que emitir el haz luminoso comprende dirigir el haz luminoso ajustando un espejo (504, 602).
 4. Método según la reivindicación 1, en el que emitir el haz luminoso comprende usar un prisma (902) para separar el haz luminoso en una pluralidad de haces luminosos que tienen longitudes de onda diferentes y que se emiten con los ángulos de emisión.
 5. Método según la reivindicación 1, en el que emitir el haz luminoso comprende usar un modulador acústico-óptico (AOM) (700) para difractar el haz luminoso para su emisión con la pluralidad de ángulos de emisión.
 6. Método según la reivindicación 1, que comprende además emitir un pulso del haz luminoso con cada uno de los ángulos de emisión desde el borde de ataque del perfil aerodinámico al interior del fluido, en el que el pulso del haz luminoso se retrodispersa por las partículas en el fluido.
 7. Método según la reivindicación 6, en el que recibir la parte de la luz retrodispersada comprende recibir la parte del pulso retrodispersado con cada uno de los ángulos de emisión y en el que determinar el ángulo de ataque comprende:
 - 30 determinar una velocidad del fluido para cada uno de los ángulos de emisión basándose en la aplicación de regulación de la distancia al pulso retrodispersado recibido con cada uno de los ángulos de emisión;
 - 35 identificar el ángulo de ataque como uno de los ángulos de emisión con el que la velocidad del fluido es máxima.
 8. Método según la reivindicación 1, que comprende además controlar un parámetro del perfil aerodinámico basándose en el ángulo de ataque, incluyendo al menos uno de paso, velocidad o forma del perfil aerodinámico.
 9. Sistema, que comprende:
 - 40 un perfil aerodinámico (300) que comprende:
 - un emisor de luz (500) configurado para emitir un haz luminoso desde un borde de ataque (302) del perfil aerodinámico al interior de un fluido fluyente con una pluralidad de ángulos de emisión, en el que el haz luminoso se retrodispersa por partículas en el fluido; y
 - un receptor óptico (500) configurado para recibir una parte de la luz retrodispersada con cada uno de la pluralidad de ángulos de emisión; y
 - al menos un procesador configurado para determinar un ángulo de ataque para el perfil aerodinámico basándose en las partes recibidas de la luz retrodispersada, en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección de flujo del fluido y una cuerda del perfil aerodinámico, determinando una velocidad del fluido para cada uno de los ángulos de emisión basándose en la radiación retrodispersada desde las partículas en el fluido con cada uno de los ángulos de emisión, e identificando el ángulo de ataque como uno de los ángulos de emisión con el que la velocidad del fluido es máxima.
 10. Sistema según la reivindicación 9, que comprende además un espejo (504, 602) configurado para dirigir el haz luminoso para su emisión con la pluralidad de ángulos de emisión.

11. Sistema según la reivindicación 9, que comprende además un prisma (902) para separar el haz luminoso en una pluralidad de haces luminosos que tienen longitudes de onda diferentes para su emisión con la pluralidad de ángulos de emisión.
- 5 12. Sistema según la reivindicación 9, que comprende además un modulador acústico-óptico (AOM) (700) para difractar el haz luminoso para su emisión con la pluralidad de ángulos de emisión.
13. Sistema según la reivindicación 9, en el que el al menos un procesador está configurado para controlar un parámetro del perfil aerodinámico basándose en el ángulo de ataque, incluyendo uno de paso, velocidad o forma del perfil aerodinámico.
- 10 14. Sistema según la reivindicación 9, en el que el perfil aerodinámico (300) comprende una pala (108) para un rotor (106) de un generador de turbina eólica (100), en el que el al menos un procesador comprende un primer procesador configurado para determinar el ángulo de ataque y un segundo procesador configurado para controlar el parámetro de la pala basándose en el ángulo de ataque, y en el que el segundo procesador está ubicado en una góndola del generador de turbina eólica.
15. Generador de turbina eólica, que comprende:
- 15 una torre (102);
una góndola acoplada a la torre (104);
un rotor (106) que comprende una pluralidad de palas (108) y configurado para hacer rotar un árbol dispuesto parcialmente en la góndola cuando el viento impulsa las palas, en el que al menos una de las palas comprende:
- 20 un emisor de luz (500) configurado para emitir un haz luminoso desde un borde de ataque (302) de la pala al interior de un fluido fluyente con una pluralidad de ángulos de emisión, en el que el haz luminoso se retrodispersa por partículas en el fluido; y
un receptor óptico (500) configurado para recibir una parte de la luz retrodispersada con cada uno de la pluralidad de ángulos de emisión; y
- 25 al menos un procesador configurado para determinar un ángulo de ataque para la pala basándose en las partes recibidas de la luz retrodispersada,
- 30 en el que el ángulo de ataque es un ángulo entre una dirección de flujo del fluido y una cuerda de la pala mediante la determinación de una velocidad del fluido para cada uno de los ángulos de emisión basándose en la radiación retrodispersada desde las partículas en el fluido con cada uno de los ángulos de emisión, e identificando el ángulo de ataque como uno de los ángulos de emisión con el que la velocidad del fluido es máxima.

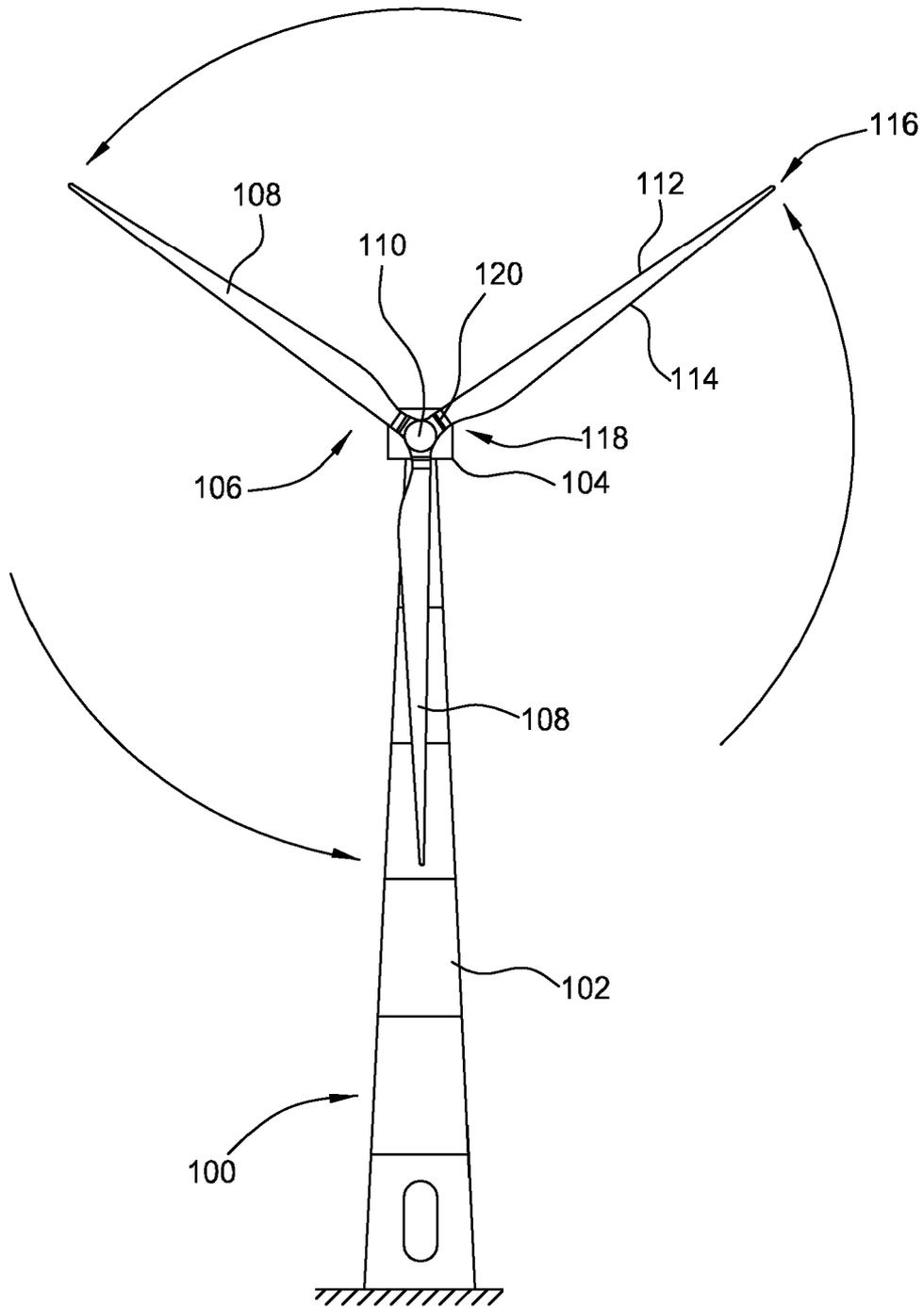


FIG. 1

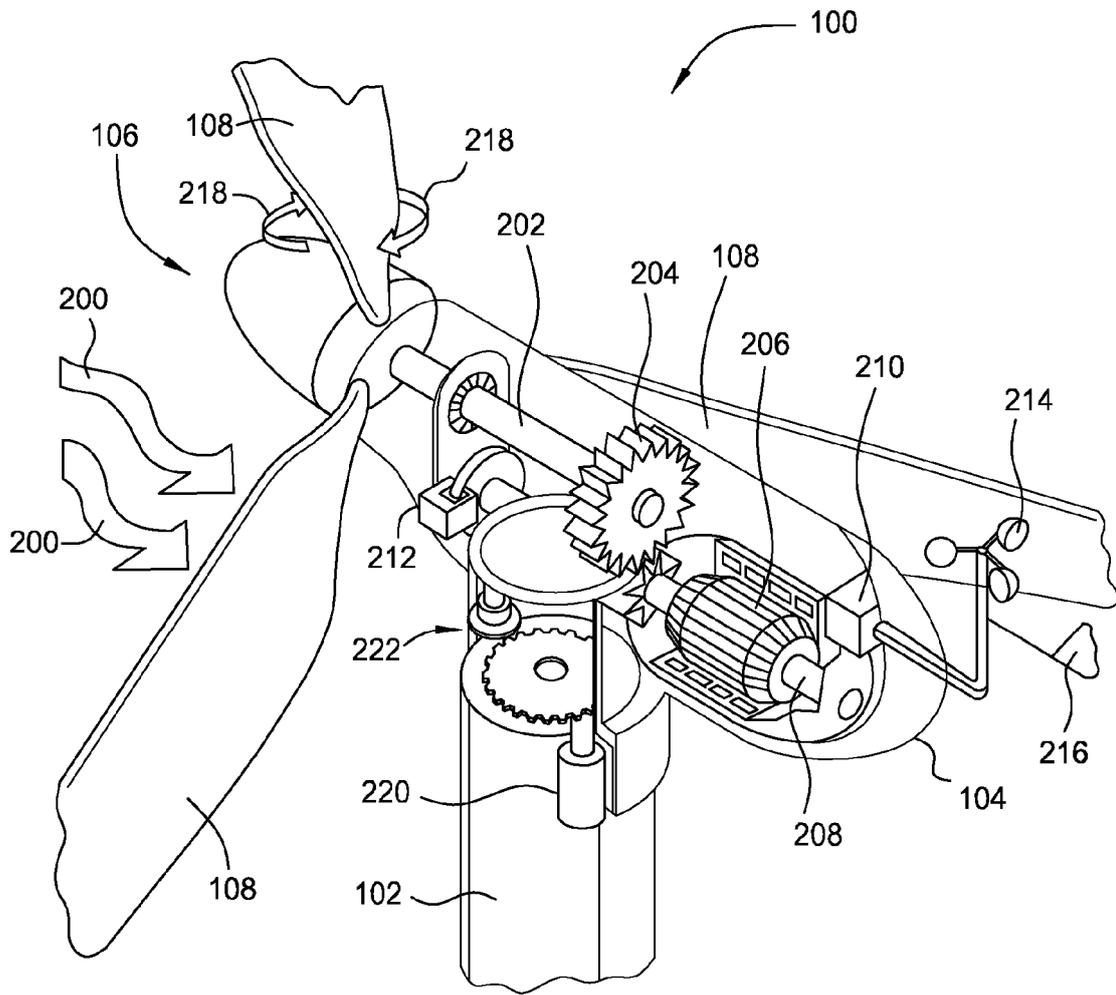


FIG. 2

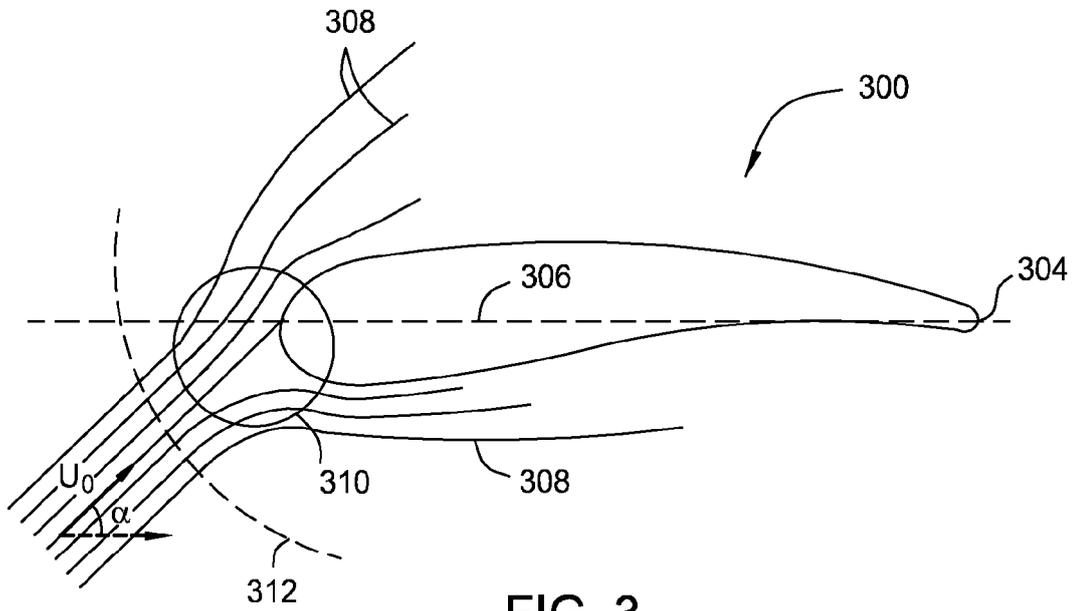


FIG. 3

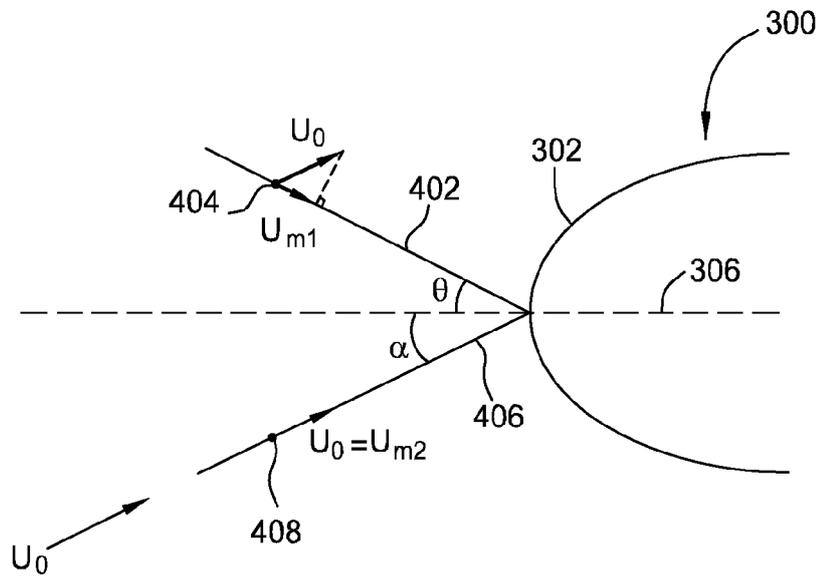


FIG. 4

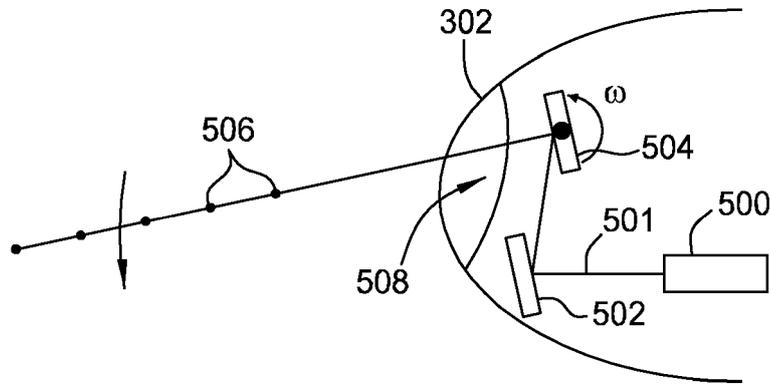


FIG. 5

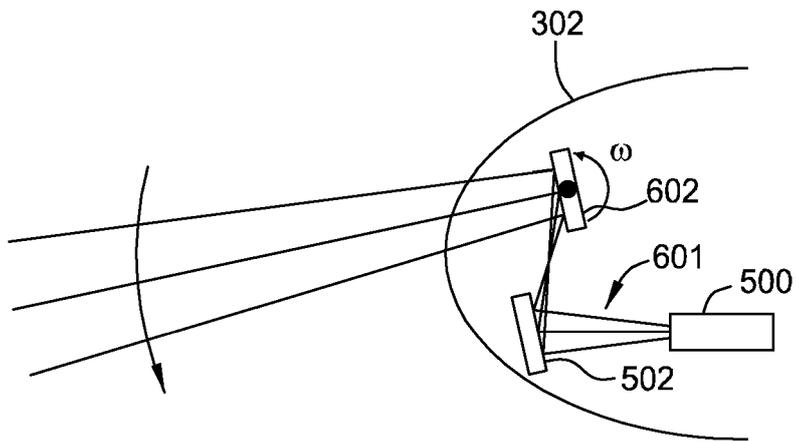


FIG. 6

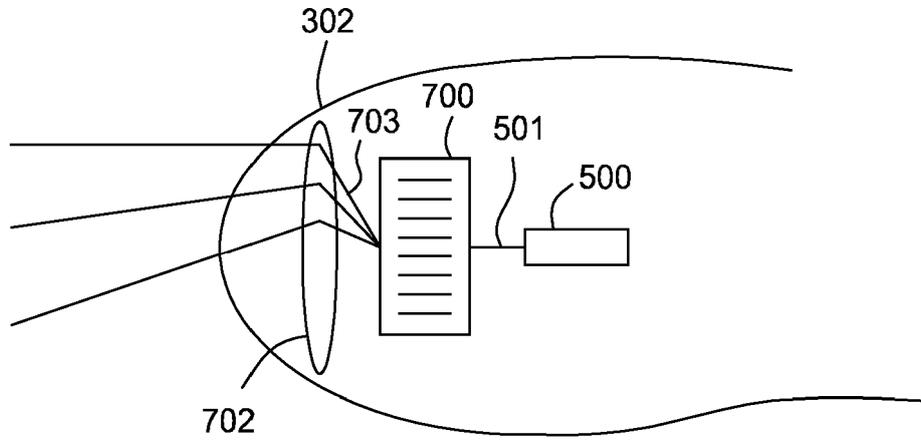


FIG. 7

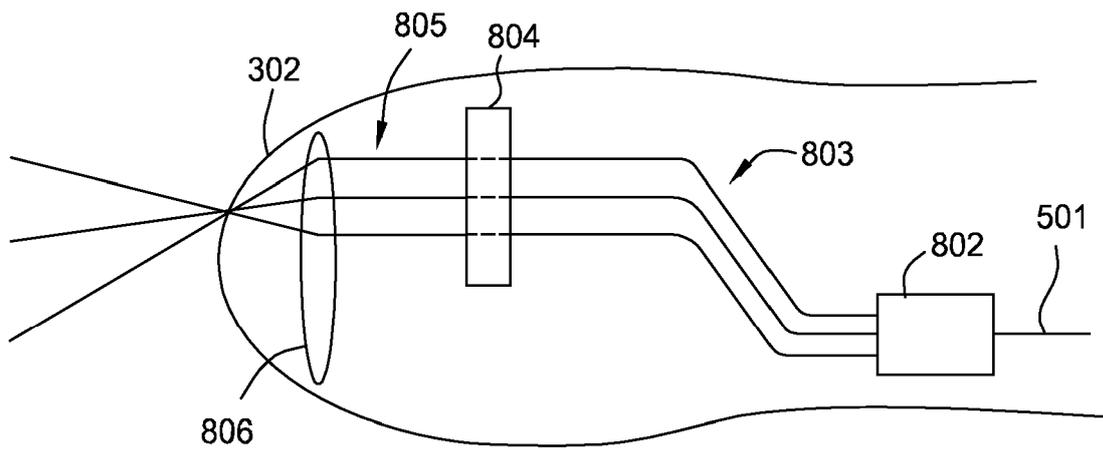


FIG. 8

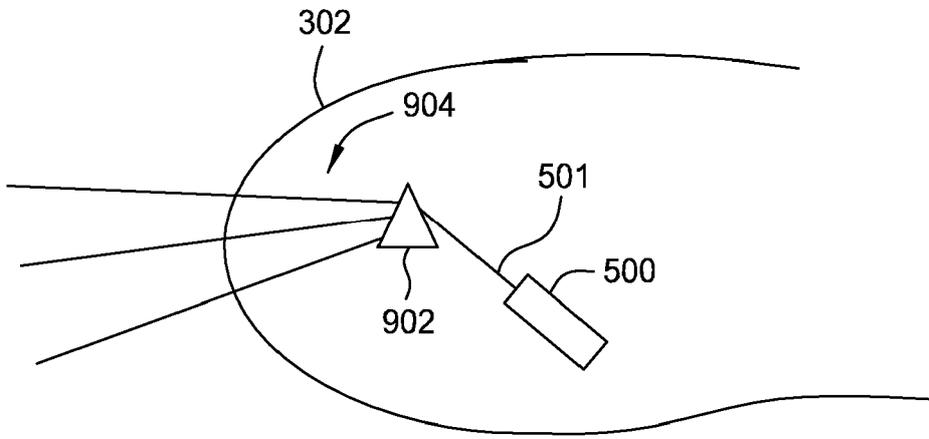


FIG. 9

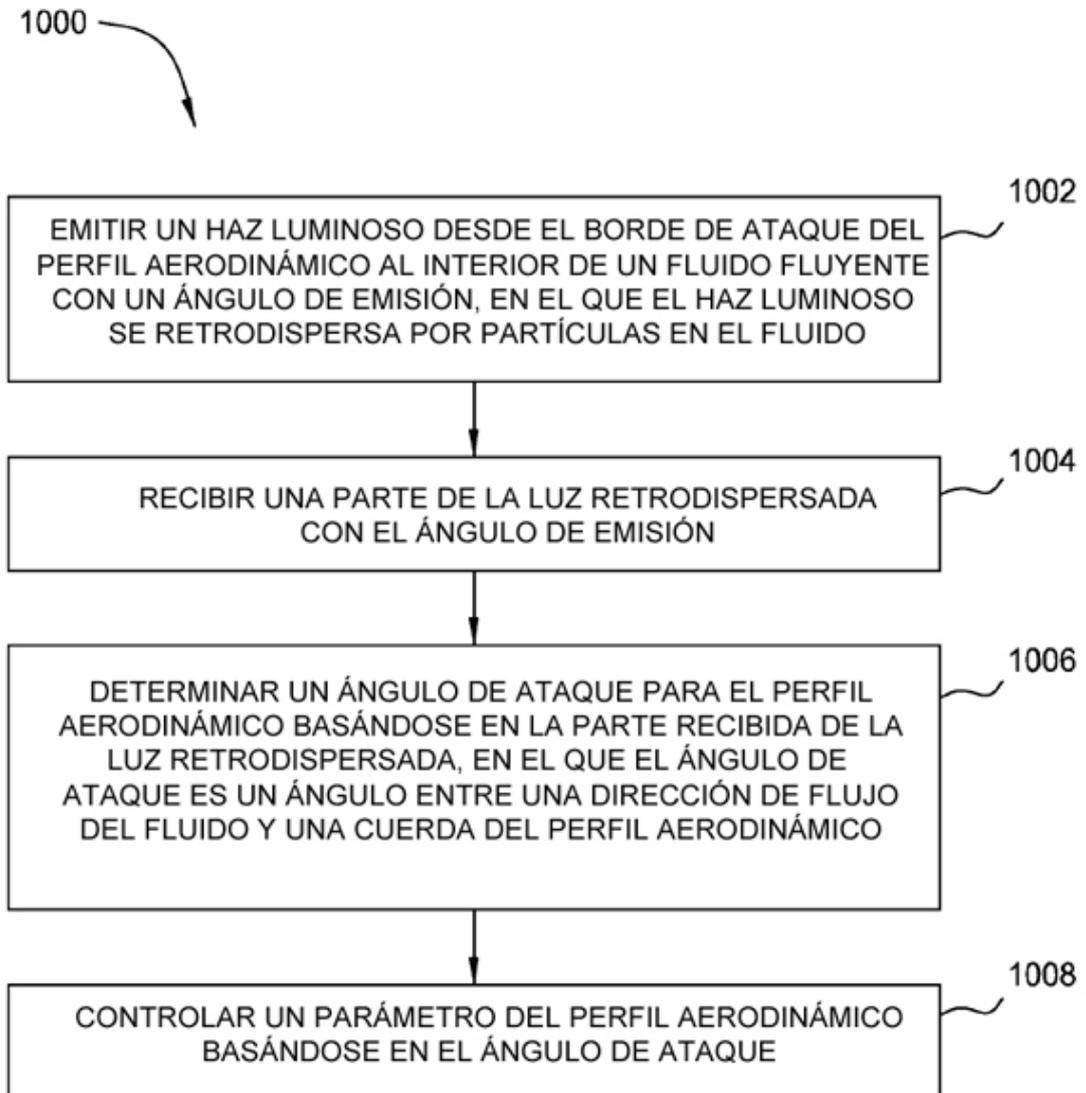


FIG. 10