

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 057**

51 Int. Cl.:

F41G 3/08 (2006.01)

F41H 13/00 (2006.01)

F41G 3/14 (2006.01)

G01S 17/66 (2006.01)

G01S 17/89 (2010.01)

G01S 17/95 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2015** E 15003426 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020** EP 3034984

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para estabilizar localmente un punto de radiación en un objeto diana distante**

30 Prioridad:

19.12.2014 DE 102014018802
08.08.2015 DE 102015010276

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2021

73 Titular/es:

MBDA DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Hagenauer Forst 27
86529 Schrobenhausen, DE

72 Inventor/es:

KEFFERPÜTZ, KLAUS;
KALENDER, CAROLYN y
ZOZ, JÜRGEN

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 805 057 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

Procedimiento y dispositivo para estabilizar localmente un punto de radiación en un objeto diana distante

5 CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento para estabilizar localmente un punto de radiación en un objeto diana distante. Se refiere además a un dispositivo para estabilizar localmente un punto de radiación en un objeto diana distante según dicho procedimiento. En este caso, un radiador de alta energía emite un haz láser de alta energía y lo dirige al objeto diana ubicado a una distancia o moviéndose a una gran distancia, en el cual se genera el punto de radiación. El objetivo es destruir o dañar el objeto diana mediante el haz láser de alta energía.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 **[0002]** La propagación de los rayos láser de alta energía en la atmósfera está sujeta a perturbaciones turbulentas, que son causadas por fluctuaciones de temperatura y, por lo tanto, ligeras fluctuaciones en el índice de refracción del aire y varían con el tiempo. Estas perturbaciones provocan una desviación local del haz láser de alta energía (el denominado componente de punta/inclinación) y un cambio adicional no lineal en el perfil del rayo. El efecto del haz láser de alta energía en la diana se deteriora si el punto de radiación no permanece constantemente en el mismo lugar en el objeto diana (también cuando se mueve), también cuando se desplaza sobre el objeto diana. Si se quiere maximizar la potencia del láser de alta energía (LAE) sobre el objeto diana, es necesario conocer y compensar las perturbaciones turbulentas. Para este propósito, primero se debe observar el objeto diana, para lo cual generalmente está previsto un dispositivo de captura de imágenes que detecta la luz emitida o reflejada por el objeto diana.

25 **[0003]** En el caso de dianas extendidas, los efectos siguientes perjudican la imagen del objeto diana registrada por la captura de la imagen y, por lo tanto, conducen a un posible deterioro en la estabilización del punto de radiación en el objeto diana:

- 30 - variación temporal no homogénea del brillo de la superficie del objeto diana observada por el dispositivo de captura de imágenes, p. ej., destellos errantes, iluminación no homogénea, sombreado, efectos de turbulencia, etc.
- cuando la diana se ilumina con un láser de iluminación, pueden producirse efectos de manchas adicionales y heterogeneidades en el brillo de la superficie;
- 35 - manchado intenso de los contornos de la diana, p. ej., debido a turbulencias, situaciones de iluminación heterogéneas de la diana o efectos moteados.

40 **[0004]** Además, la turbulencia en el aire, la cual el haz láser de alta energía penetra en su trayectoria hacia la diana, está sujeta a fluctuaciones locales, por lo que es necesario que la turbulencia sea observable en áreas limitadas alrededor del haz láser de alta energía. El parámetro de Fried r_0 o el ángulo isoplanático Θ_0 se usan típicamente para evaluar las áreas localmente adecuadas. Describen rangos espaciales o angulares fuera de los cuales se puede hablar de una turbulencia considerablemente cambiada.

45 ESTADO DE LA TÉCNICA

[0005] Se conocen conceptos convencionales para la detección de turbulencias, por ejemplo, la detección del componente de punta/inclinación, el uso de estrellas guía en astronomía o puntos láser de punta/inclinación en relación con láseres de alta energía. La llamada óptica adaptativa se utiliza para detectar modos más altos de turbulencia. Los dispositivos para la detección de turbulencias que utilizan estos procedimientos conocidos requieren sensores y/o transmisores adicionales.

55 **[0006]** Además, se conoce un procedimiento de formación de imágenes a partir del documento US 7 405 834 B1. La desviación de un haz láser de alta energía se conoce a partir del documento US 2010/282942 A1. Fitzpatrick et al., "Bayesian statistical approaches to tracking through turbulence", American Control Conference, 2004, describen estrategias estadísticas para corregir las turbulencias. Los documentos US 2012/292481 A1, US 2009/097508 A1 y US 2011/103410 A1 forman otro estado de la técnica.

60 **[0007]** En el campo del procesamiento de imágenes, son procedimientos habituales la medición del centro de gravedad de la imagen del objeto diana en la

[0008] imagen capturada por el dispositivo de captura de imágenes o, alternativamente, mediante la evaluación de un detector de cuatro cuadrantes.

65

[0009] La desventaja es que las variaciones temporales en el brillo de la superficie se interpretan como un movimiento de punta/inclinación turbulento virtual y generan ruido adicional, lo que empeora considerablemente la estabilización del punto de radiación en el objeto diana. La imagen borrosa también genera ruido adicional.

5 **[0010]** Los procedimientos alternativos, por ejemplo, los procedimientos de correlación, también son sensibles a fuertes fluctuaciones en el brillo de la superficie. Los procedimientos de seguimiento de contornos son menos sensibles a las fluctuaciones en el brillo de la superficie de la diana, pero generan un ruido adicional considerable cuando la diana se difumina en la imagen capturada mediante el dispositivo de captura de imágenes. Los procedimientos estadísticos publicados en la literatura intentan estimar el deterioro turbulento de la imagen, pero no
10 resuelven el problema de la variación temporal del brillo de la superficie.

[0011] Las estrategias son de uso habitual en el lado de mando, en el que el resultado del procesamiento de imágenes son datos de entrada para un filtro que está conectado en serie con el elemento de mando, es decir, que los valores estimados del filtro forman la entrada del dispositivo de mando. Esta estrategia se utiliza principalmente
15 cuando el resultado del procesamiento de imágenes no es claro, por ejemplo, cuando se utilizan procedimientos de procesamiento de imágenes basados en gradientes. Una desventaja de este procedimiento es que el filtro también elimina los componentes de interferencia de mayor frecuencia, que también son resultado de los efectos de turbulencia, en particular con los objetivos en movimiento.

20 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[0012] Por lo tanto, el objeto de la presente invención es especificar un procedimiento y un dispositivo para estabilizar un punto de radiación en un objeto diana distante, de modo que sea posible la destrucción rápida del objeto diana mediante rayos láser de alta energía.
25

[0013] La parte del objeto dirigida al procedimiento se logra mediante el procedimiento para estabilizar un punto de radiación en un objeto diana distante con las características de la reivindicación 1.

[0014] Este procedimiento según la invención para la estabilización local de un punto de radiación en un objeto diana distante, en el que el punto de radiación se forma a partir de un haz láser de alta energía que se dirige al objeto diana por medio de un radiador de alta energía, y donde el objeto diana está iluminado por un haz de iluminación que se dirige al objeto diana por medio de un dispositivo de iluminación, caracterizado porque un dispositivo de captura de imágenes recibe una radiación reflejada por el objeto diana iluminado por el haz de iluminación, porque la radiación reflejada desde el objeto diana al dispositivo de captura de imágenes viaja a través de la misma trayectoria óptica que
30 el haz láser de alta energía, porque la imagen del objeto diana iluminado o una parte del objeto diana capturada por el dispositivo de captura de imágenes se analiza mediante un dispositivo de procesamiento de imágenes y con al menos una imagen del objeto diana iluminado o una parte del objeto diana iluminado generada en un punto anterior en el tiempo o se compara con una imagen almacenada en una base de datos de objetos, y porque en base a esta comparación se determina una señal de corrección, la cual se carga en un dispositivo de corrección óptica dispuesto
35 en la trayectoria óptica por la que pasan el haz láser de alta energía y la radiación reflejada. El resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes se carga a un dispositivo de filtro y en paralelo a un elemento de mando de seguimiento de precisión. A continuación, el dispositivo de filtro genera una señal de corrección de filtro y el elemento de mando de seguimiento de precisión genera una señal de corrección de elemento de mando. La señal de corrección se forma a partir de la señal de corrección de filtro y la señal de corrección de
40 elemento de mando.
45

[0015] El dispositivo de mando se forma a partir de un elemento de mando de seguimiento de precisión y un filtro. De este modo, el elemento de mando y el filtro calculan una señal de corrección que, cuando se suma, se usa para controlar el dispositivo de corrección.
50

[0016] Mediante el uso de un modelo de movimiento para el punto de radiación (punto del láser de alta energía) en el objeto diana y los resultados del procesamiento de la imagen (por ejemplo, parámetros de deformación, desplazamiento del punto de radiación desde el punto de detención, marca de tiempo), el filtro predice el desplazamiento del punto de radiación desde el punto de detención en la etapa de tiempo siguiente y calcula una
55 señal de corrección (señal de corrección de filtro). De esta forma, el filtro ya puede compensar la interferencia de baja frecuencia y se pueden minimizar los errores de seguimiento. El movimiento tenido en cuenta en el modelo de movimiento se compone de partes de un movimiento diana y las influencias de turbulencia.

[0017] Además de la información procedentes del procesamiento de imágenes, las mediciones de un radar y/o el procesamiento de imágenes de seguimiento aproximado en el filtro también se pueden tener en cuenta como mediciones adicionales.
60

[0018] El elemento de mando de seguimiento de precisión también utiliza el resultado del procesamiento de la imagen (por ejemplo, parámetros de deformación, desplazamiento del punto de radiación desde el punto de detención, marca de tiempo) para compensar los errores residuales remanentes (interferencia de alta frecuencia, desviación del
65

movimiento del punto de radiación verdadero del modelo de movimiento en el filtro). Se activa el elemento de mando con la misma cadencia que se activa el procesamiento de la imagen. Puede ser ventajoso para el filtro si se activa con mayor frecuencia.

- 5 **[0019]** La imagen almacenada en una base de datos de objetos también puede ser una imagen sintética o una imagen reducida a ciertos elementos de imagen (por ejemplo, en los bordes). La comparación de la imagen capturada con una imagen almacenada en una base de datos de objetos puede ser particularmente ventajosa cuando no hay imagen capturada en un momento anterior o esta imagen capturada previamente no es adecuada para una comparación. También puede ser útil comparar una pluralidad de imágenes de distintos objetos almacenados en la base de datos de objetos con la imagen capturada para identificar primero el objeto diana.

VENTAJAS

- 15 **[0020]** Dado que la luz que regresa del objeto diana al dispositivo de captura de imágenes experimenta la misma atmósfera turbulenta que el haz láser de alta energía (al menos en la vecindad del parámetro de Fried r_0), la imagen generada por la luz que regresa del objeto diana al radiador de alta energía en el dispositivo de captura de imágenes puede servir como un indicador de las perturbaciones generadas por la turbulencia del punto de radiación generado por el haz láser de alta energía que se puede utilizar en el objeto diana. Por lo tanto, la imagen del objeto diana en el dispositivo de captura de imágenes experimenta perturbaciones turbulentas similares en la vecindad del punto láser de alta energía (es decir, el punto de radiación) como el punto de radiación en sí. En consecuencia, el procedimiento según la invención permite estimar la turbulencia sin tener que realizar una medición compleja del frente de onda.

- 25 **[0021]** La estimación de la turbulencia y la compensación de los efectos de la turbulencia en el haz láser de alta energía y el punto de radiación formado por él en el objeto diana se llevan a cabo en función de las imágenes del objeto diana, preferentemente imágenes de cámara de alta velocidad tomadas consecutivamente por el dispositivo de captura de imágenes. Las diferencias que resultan de las distintas longitudes de onda del haz láser de alta energía y la luz de retorno no son considerables en este sentido.

- 30 **[0022]** El procedimiento de procesamiento de imágenes iterativo (por ejemplo, el procedimiento de deformación) permite lograr un alto nivel de consistencia contra los cambios en las intensidades de la superficie del objeto diana y contra la distorsión de la forma del objeto diana debido a las influencias de turbulencia. Por lo tanto, se evitan las desventajas de los procedimientos de procesamiento de imágenes clásicos, pero esto ocurre a cambio de un cierto tiempo calculatorio, el cual se hace notar en un bucle de mando como tiempo muerto y puede tener errores de seguimiento en consecuencia. Esta desventaja se evita mediante un servocontrol a través del dispositivo de filtro. Al mismo tiempo, los componentes de interferencia de mayor frecuencia se pueden conservar en los desplazamientos determinados, de modo que el elemento de mando de seguimiento de precisión pueda reaccionar ante ellos. Esto es esencial para la compensación de turbulencia.

- 40 **[0023]** Al adaptar el elemento de mando de seguimiento de precisión al tiempo muerto actual, se puede lograr una mejora adicional en la supresión de interferencias. El tiempo muerto puede variar cuando se utiliza el procedimiento de deformación, por ejemplo, debido a los distintos tamaños de plantilla. En una realización preferida del procedimiento, el tiempo muerto actual en el elemento de mando se calcula en función de las marcas de tiempo transmitidas por el dispositivo de procesamiento de imágenes y los parámetros del elemento de mando se adaptan en línea a este tiempo muerto.

- 50 **[0024]** En otro desarrollo ventajoso del procedimiento según la invención, la consistencia se incrementa debido a un retorno de los resultados del filtro procedentes del dispositivo de filtro de regreso al dispositivo de procesamiento de imágenes y al número de iteraciones y, por lo tanto, se minimiza el tiempo muerto.

[0025] Además, el filtro también permite que un punto diana que ya no sea visible temporalmente debido a la ocultación se pueda seguir y reactivar inmediatamente después de que la fase de ocultación haya finalizado.

- 55 **[0026]** La idea central de la invención es, por lo tanto, el cambio temporal en la imagen del objeto diana iluminado por el haz de iluminación o parte del objeto diana, que está lo más cerca posible de la misma ubicación en el objeto diana, en el que se encuentra el punto de radiación del láser de alta energía, o al menos en su vecindad inmediata, para usar el dispositivo de captura de imágenes como una variable de medición o un indicador para el cambio en el punto de radiación del láser de alta energía formado en el objeto diana y para llevar a cabo una corrección en tiempo real de los errores ópticos mediante el mando según la invención.

- 60 **[0027]** Por lo tanto, al usar el procedimiento según la invención, hay un aumento en la potencia activa en la ubicación del punto de radiación en el objeto diana al compensar los efectos de turbulencia sin la necesidad de una gran cantidad de aparatos.

- 65 **[0028]** El cálculo del procesamiento de imágenes lleva cierto tiempo, por lo que solo se realiza cada 5 ms

(intervalo de 5 milisegundos), por ejemplo. Esto lleva al controlador a «correr detrás» del punto objetivo en la diana (llamado error de seguimiento). Mientras tanto, a su vez, el filtro predice y, por ejemplo, puede activarse cada 1 ms (intervalo de 1 milisegundo). Por lo tanto, el filtrado se lleva a cabo con mucha más frecuencia (por ejemplo, 5 veces más a menudo) que el mando. Los componentes de interferencia de baja frecuencia pueden compensarse de esta manera.

[0029] En cada etapa de tiempo, se genera una señal de corrección para cada eje (x, y) del dispositivo de corrección óptica que puede pivotar alrededor de dos ejes, por ejemplo, en forma de una señal de voltaje eléctrico (u_x , u_y) para cargar el dispositivo de corrección óptica. Esta señal de corrección se forma como la suma de la señal de corrección correspondiente en un punto anterior en el tiempo (t-1) y una señal de corrección diferencial respectiva ($\Delta u_{x\text{Filter}}$, $\Delta u_{y\text{Filter}}$) determinada por el filtro. El elemento de mando forma una señal de corrección diferencial separada ($\Delta u_{x\text{Regler}}$, $\Delta u_{y\text{Regler}}$). En el caso de las señales de voltaje, se aplica lo siguiente:

$$u_x = u_x(t-1) + \Delta u_{x\text{ Filter}} + \Delta u_{x\text{ Regler}}$$

$$u_y = u_y(t-1) + \Delta u_{y\text{ Filter}} + \Delta u_{y\text{ Regler}}$$

15

[0030] Este resumen se lleva a cabo en cada etapa de tiempo. Dado que el filtro se activa a una frecuencia más alta que el elemento de mando, esta suma (y el reenvío de la señal de corrección al dispositivo de corrección óptica) se produce con la cadencia del filtro, por ejemplo, cada 1 ms para el filtro y cada 5 ms para el controlador.

20 **[0031]** Si no se efectúa ningún cálculo del elemento de mando porque no hay ningún resultado de comparación de imágenes nuevo, el valor cero se usa para el Δu_{Regler} respectivo:

$$\Delta u_{x\text{ Regler}} = 0$$

$$\Delta u_{y\text{ Regler}} = 0.$$

25 **[0032]** Para llevar a cabo la comparación de imágenes, cada imagen cuenta con una marca de tiempo, lo que permite clasificar las imágenes capturadas en el tiempo y, por lo tanto, asignar la marca de tiempo correspondiente a cada medición, de modo que quede claro para qué momento de la captura de la imagen se aplica el resultado del procesamiento de la imagen. La antigüedad de la imagen se transmite cuando la imagen se lee a través del procesamiento de imágenes. Por lo tanto, se puede asignar a qué índice de imagen pertenece el resultado del procesamiento de imágenes.

[0033] Otras características de realizaciones adicionales preferidas y ventajosas del procedimiento según la invención son el tema de las reivindicaciones dependientes 2 a 9.

35 **[0034]** La parte del objeto dirigida al dispositivo se logra mediante un dispositivo que tiene las características de la reivindicación 10.

[0035] Este dispositivo según la invención para la estabilización local de un punto de radiación en un objeto diana distante según el procedimiento según la invención se caracteriza por un dispositivo de iluminación para emitir un haz de iluminación sobre un objeto diana, un láser de alta energía para emitir un haz láser de alta energía sobre el objeto diana, un dispositivo de corrección óptica que se encuentra en la trayectoria óptica del haz láser de alta energía y que puede controlarse mediante un dispositivo de mando, un dispositivo de desacoplamiento de radiación que está previsto en la trayectoria óptica del haz láser de alta energía y que está diseñado para desacoplar la radiación recibida como reflejo del haz de iluminación fuera de esta trayectoria óptica y conducirla a un dispositivo de captura de imágenes y a un dispositivo de procesamiento de imágenes, el cual está conectado al dispositivo de captura de imágenes para transmitir una señal de imagen y que está provisto del dispositivo de mando, el cual está diseñado para generar una señal de corrección y está conectado con un dispositivo de control para el dispositivo de corrección para la transmisión de la señal de corrección. Este dispositivo de corrección óptica contiene una conexión en paralelo del elemento de mando de seguimiento de precisión y un dispositivo de filtro, cada uno de los cuales suministra componentes de señal de corrección al dispositivo de corrección óptica.

[0036] Este dispositivo hace posible estimar y compensar las futuras influencias de turbulencia en el haz láser

de alta energía por adelantado sin mayores gastos en equipos como los que se requerirían, por ejemplo, cuando se usa un sensor de onda frontal.

[0037] En general, tiene la ventaja de maximizar la energía del láser en el punto de radiación formado en el objeto diana y, por lo tanto, de una reducción considerable en el tiempo de irradiación sin el uso de un sensor de frente de onda o una estrella guía.

[0038] Ejemplos de realización preferidos de la invención con detalles de configuración adicional y otras ventajas se describen y explican detalladamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos.

10 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0039] En los cuales:

15 la figura 1 muestra una estructura esquemática de un dispositivo según la invención para la estabilización local de un punto de radiación en un objeto diana distante, y

la figura 2 es un diagrama de bloques de un circuito de control de seguimiento de precisión.

20 DESCRIPCIÓN DE EJEMPLOS DE REALIZACIÓN PREFERIDOS

[0040] La 1 muestra esquemáticamente un dispositivo según la invención para la estabilización local de un punto de radiación en un objeto diana distante. Este dispositivo presenta un radiador de alta energía 1 que emite un haz láser de alta energía L. Este haz láser de alta energía L golpea un primer espejo deflector 10 y es enviado desde allí a un segundo espejo deflector 12. El primer espejo deflector 10 está diseñado como un espejo dicróico para desacoplar la potencia de radiación del haz láser de alta energía de una imagen recibida en la misma trayectoria óptica. El segundo espejo 12 es un espejo de punta/inclinación, cuyo ángulo es variable y está dirigido por un dispositivo de mando.

30 **[0041]** El haz láser de alta energía L reflejado en el segundo espejo deflector a continuación pasa a través de un dispositivo de enfoque 14, por ejemplo, un telescopio, y golpea la cubierta del objeto diana distante y/o en movimiento Z, que en el ejemplo mostrado está formado por un objeto volante. El haz láser de alta energía L genera así un punto de radiación S en la piel externa del objeto diana Z. La cubierta del objeto diana Z se calienta en este punto de radiación S por la acción del haz láser de alta energía L de tal manera que la estructura en este punto se debilita y el objeto diana Z se destruye o daña de ese modo. Una aplicación típica es la lucha contra los misiles.

[0042] En su trayectoria desde el dispositivo V hasta el objeto diana Z, el haz láser de alta energía L atraviesa la atmósfera A, donde se produce la turbulencia T, que se muestran esquemáticamente en la figura 1 como una línea ondulada. Estas turbulencias tienen el efecto de que el punto de radiación S sobre el objeto diana Z no es estacionario, sino que se desplaza ligeramente sobre el objeto diana Z con respecto al punto de detención H al que apunta un dispositivo diana. La consecuencia de esto es que la energía de radiación aplicada localmente a la cubierta del objeto diana Z no permanece constante durante la radiación, como resultado de lo cual el efecto de radiación es subóptimo. Por lo tanto, la temperatura requerida en la cubierta del objeto diana Z para ablandar o derretir la cubierta solo se alcanza después de un tiempo de irradiación más prolongado y/o solo usando una energía de radiación más alta. Para lograr este objetivo, incluso con una energía de radiación más baja y un tiempo de irradiación más corto, es necesario estabilizar localmente el punto de radiación S en la cubierta del objeto diana Z. Además de los procedimientos habituales para el seguimiento de dianas, que rastrean esencialmente el punto de radiación S incluso con un objeto diana en movimiento Z, se debe resolver el problema del desplazamiento del punto diana relacionado con la turbulencia del haz láser de alta energía L.

50 **[0043]** Para este propósito, el objeto diana Z se ilumina desde una distancia que es esencialmente tan grande como la distancia entre el dispositivo V y el objeto diana Z mediante un dispositivo de iluminación 2, que está formado, por ejemplo, por un láser de iluminación 20. El haz de iluminación B que emana del láser de iluminación 20 generalmente presenta una longitud de onda que se desvía del haz láser de alta energía L. El láser de iluminación 20 es divergente e ilumina todo el objeto diana o al menos regiones extensas del objeto diana Z.

[0044] El haz de iluminación B también viaja una gran distancia desde el dispositivo de iluminación 2 hasta la diana Z y golpea el objeto diana Z y también en la cubierta al menos en el área del punto de radiación S. A partir de ahí, el haz de iluminación B' reflejado en la cubierta del objeto diana Z incide en la misma trayectoria óptica P hacia el dispositivo V, que el haz láser de alta energía L toma del dispositivo V al objeto diana Z. Esto significa que el haz de iluminación B' también pasa a través de la atmósfera A y su turbulencia T y, por lo tanto, experimenta las mismas desviaciones ópticas que el haz láser de alta energía L que atraviesa la turbulencia T al mismo tiempo.

60 **[0045]** El haz de iluminación reflejado B' proviene del objeto diana Z a través del dispositivo de enfoque 14 y se topa con el segundo espejo deflector 12, desde el cual se desvía en la dirección del primer espejo deflector 10.

- [0046]** Este primer espejo deflector 10 es transparente a la longitud de onda del haz de iluminación B, de modo que forma un dispositivo de desacoplamiento de radiación que no desvía el haz de iluminación B' reflejado por el objeto diana Z, sino que lo transmite. El haz de iluminación reflejado B' que atraviesa el primer espejo deflector 10 se encuentra a continuación un dispositivo de captura de imágenes 3, que está formado, por ejemplo, por una cámara de alta velocidad 30. El dispositivo de captura de imágenes 3 captura una imagen de un área parcial del objeto diana Z o incluso todo el objeto diana Z.
- [0047]** La señal de imagen obtenida en el dispositivo de captura de imágenes 3 se conduce a través de una línea de señales 32 a un dispositivo de procesamiento de imágenes 34 que analiza la imagen representada por la señal de imagen y la compara con una imagen generada previamente. Esta imagen generada previamente puede ser una imagen adquirida anteriormente o con anterioridad o generada sintéticamente. A partir de una secuencia de tales comparaciones de imágenes del área iluminada por el haz de iluminación B en la cubierta del objeto diana Z, que son percibidas por el haz de iluminación reflejado B', generada por el dispositivo de captura de imágenes 3, el dispositivo de procesamiento de imágenes 34 puede hacer una predicción de a qué influencias ópticas se someterá el haz láser de alta energía L emitido en este momento en su trayectoria a través de la atmósfera A. A partir de este pronóstico, el dispositivo de procesamiento de imágenes determina una señal de corrección que se envía como una señal de mando desde un dispositivo de mando 36 previsto en el dispositivo de procesamiento de imágenes 34 o conectado a él, simbolizado por la flecha abierta K, a un dispositivo de control del segundo espejo deflector 12 diseñado como un espejo de punta/inclinación.
- [0048]** Por supuesto, con pequeñas concesiones en la precisión, también es posible determinar la señal de corrección directamente a partir de una comparación de las señales de imagen de las últimas imágenes recibidas del punto de iluminación sin hacer un pronóstico y esto a continuación se utiliza como base para la corrección.
- [0049]** El segundo espejo deflector 12 forma así un dispositivo de corrección óptica y compensa las influencias ópticas esperadas en la trayectoria entre el dispositivo V y el objeto diana Z, que son provocadas esencialmente por la turbulencia T. De esta manera, se forma un bucle de control de seguimiento de precisión, que compensa los efectos negativos de la turbulencia T en el haz láser de alta energía L (y, por supuesto, también en el haz de iluminación reflejado B'), de modo que el punto de radiación S formado por el rayo láser L en la cubierta del objeto diana Z permanece casi constante.
- [0050]** En el dispositivo mostrado en la figura 1, la luz reflejada por la diana se registra y evalúa en una cámara de alta velocidad en el mismo canal óptico o en la misma trayectoria óptica a través de la cual viaja el láser de alta energía. Sobre esta base, se realiza una corrección del haz láser de alta energía con la ayuda de un espejo de punta/inclinación, por ejemplo, en forma de espejo piezoeléctrico, como un dispositivo de corrección óptica. Aunque el objeto diana se ilumina en el ejemplo mostrado mediante un láser de iluminación, también se pueden utilizar otras formas de iluminación hasta la evaluación de la retroreflexión debida a la radiación solar.
- [0051]** El punto clave del procedimiento según la invención que se muestra y describe como ejemplo es la comparación de una llamada imagen de plantilla de un objeto (el objeto diana o de una parte del objeto diana) con la imagen capturada actualmente por el dispositivo de captura de imágenes 2 (en lo sucesivo, una imagen de seguimiento de precisión). El objetivo es determinar los parámetros de una transformación que asigne de manera óptima la imagen de plantilla a la imagen de seguimiento de precisión actual en el sentido de una determinada medida de calidad. Por ejemplo, la suma mínima de error cuadrado de las desviaciones de píxeles se puede utilizar para esto. En este punto, también es posible ponderar la influencia de ciertos parámetros de la transformación de manera distinta en la medida del error o ponderar ciertas desviaciones de píxeles más o menos. También es concebible una optimización jerárquica donde los componentes de una transformación (por ejemplo, rotación, traslación) se optimicen sucesivamente. La transformación en sí misma se conoce como «deformación» y los parámetros de la transformación se denominan parámetros de deformación.
- [0052]** La transformación puede permitir distintos grados de libertad: Como regla, se permiten la rotación, traslación, estiramiento o compresión y corte de la imagen de plantilla. En este caso, se deben determinar seis parámetros de deformación. Las transformaciones proyectivas u otras también son concebibles. En este caso, el número de parámetros de deformación puede variar. Sin embargo, la forma de reducir los parámetros de deformación ha demostrado ser útil para la aplicación. En función de la geometría del encuentro y la trayectoria de la diana, no ocurren ciertos efectos como el corte o la compresión, por lo que el uso de menos parámetros de deformación (por ejemplo, tres o cinco) puede ser útil.
- [0053]** Si el punto de detención (el punto avistado en el objeto diana Z que el rayo láser de alta energía L debe alcanzar) se define en la imagen de plantilla, se puede transformar en la imagen actual mediante el uso de la instrucción de transformación determinada y se puede determinar el desplazamiento directamente en su imagen en función de la señal de corrección calculada por el dispositivo de mando 36.
- [0054]** Los parámetros de deformación también se usan preferentemente para calcular señales de corrección

para controlar un espejo deformable para compensar modos más altos (correspondientes a una deformación del punto de radiación formado por el láser de alta energía).

[0055] La imagen de plantilla en sí puede ser una imagen genérica del objeto diana Z, que sea prefabricada y se proporcione y almacene en una memoria del dispositivo de procesamiento de imágenes 34. Alternativamente, la imagen de plantilla puede ser una imagen generada en función de una secuencia de imágenes inicialmente registrada por el dispositivo de captura de imágenes 3 (mediante la activación del láser de alta energía antes de que se inicie el combate). Finalmente, la imagen de plantilla también puede formarse alternativamente mediante una selección realizada por un operador de una sección de la imagen de seguimiento de precisión. Cuál de estos procedimientos alternativos se utiliza depende, por ejemplo, del tipo de objeto diana. Con los objetos diana que se mueven rápidamente, la selección debe hacerse automáticamente, con los objetos diana lentos, la especificación del operador tiene sentido. Lo mismo se aplica a la selección del punto de detención, que puede ser automatizada o especificada por el operador.

[0056] En el curso del procedimiento de control, la vista del objeto puede cambiar fundamentalmente, por ejemplo, debido a una maniobra de vuelo del objeto diana, de modo que la imagen de plantilla subyacente ya no hace justicia a la situación. Para contrarrestar este efecto, la imagen de plantilla se puede modificar con la ayuda de la información de la imagen de seguimiento de precisión, la plantilla está diseñada con una función de aprendizaje. La cantidad de información que se usa de la imagen de seguimiento de precisión actual para modificar la plantilla puede ser limitada («tasa de aprendizaje»).

[0057] Dado que la imagen de plantilla generalmente contiene menos píxeles que la imagen capturada por el dispositivo de captura de imágenes y el esfuerzo de cálculo y, por lo tanto, también el tiempo de cálculo requerido aumenta con el número de píxeles, la plantilla está preferentemente «deformada», es decir, sujeta a una transformación. Dado que la deformación tiene que realizarse en el curso de la optimización en cada etapa de iteración, esto reduce considerablemente el esfuerzo informático. En principio, sin embargo, la forma opuesta también es concebible. Además, se puede ahorrar esfuerzo al reducir la resolución de píxeles de la imagen de plantilla.

[0058] En términos de corrección de las influencias de turbulencia es decisiva un área espacialmente delimitada (caracterizada por el radio de Fried r_0) alrededor del punto de detención en el objeto diana. Si el objeto diana es grande en comparación con esta área, puede tener sentido usar una subplantilla que solo contenga esta área del objeto diana. En este caso, la imagen de plantilla se utiliza para determinar una alineación aproximada (principalmente para corregir el movimiento de la diana). Luego, mediante el uso de la subplantilla, se determina una orientación detallada (principalmente para corregir el movimiento debido a la turbulencia). Al igual que la selección de plantilla, la subplantilla se puede seleccionar de distintas maneras. La selección automatizada de un área alrededor del punto de detención especificado, cuyo tamaño se selecciona en función de r_0 , parece tener un sentido particular.

[0059] El dispositivo descrito toma imágenes del objeto diana, en base al cual se determina un punto de detención con la ayuda del procedimiento de deformación. Al mismo tiempo, un punto láser de alta energía se irradia sobre la diana en el mismo canal óptico o en la misma trayectoria óptica a través de la cual se recibe la luz para la captura.

[0060] El procesamiento de la señal en un bucle de mando formado con el dispositivo de mando 36 en el dispositivo se muestra como un diagrama de bloques en la figura 2. El dispositivo de mando está posconectado al dispositivo de procesamiento de imágenes 34 y presenta un dispositivo de filtro 38 y un elemento de mando de seguimiento de precisión 39 como dispositivo de mando. Como se puede ver en la figura 2, el dispositivo de filtro 38 y el elemento de mando de seguimiento de precisión no están conectados en serie sino en paralelo.

[0061] Tanto el dispositivo de filtro 38 como el elemento de mando de seguimiento de precisión 39 reciben señales por parte del dispositivo de procesamiento de imágenes 34 a través de las líneas de señal correspondientes. El dispositivo de filtro 38 conduce una señal de resultado de filtro E de vuelta al dispositivo de procesamiento de imágenes 34. Las señales de salida del dispositivo de filtro 38 y el elemento de mando de seguimiento de precisión 39 se conducen como señales de corrección K al dispositivo de control 11 del segundo espejo deflector 12. El funcionamiento del dispositivo de mando 36 se describe a continuación.

Después de la captura de imágenes mediante el dispositivo de captura de imágenes 3, el punto de detención H en la imagen de seguimiento de precisión actual se determina en el dispositivo de procesamiento de imágenes 34 con la ayuda de un procedimiento de procesamiento de imágenes adecuado. Los procedimientos iterativos, que calculan una transformación afin mediante el uso imágenes de plantilla (por ejemplo, los procedimientos de deformación descritos anteriormente), parecen ser particularmente adecuados para esto.

Los resultados del procesamiento de la imagen, es decir, la posición del punto de detención en la imagen de seguimiento de precisión actual y otros parámetros, por ejemplo, una transformación afin y, si se utilizan procedimientos de deformación, los parámetros de deformación forman las variables de entrada tanto del dispositivo de filtro 38 como del elemento de mando de seguimiento de precisión 39. Con la ayuda de un filtro proporcionado en el dispositivo de filtro, la información de la imagen se fusiona con la información de movimiento proporcionada al dispositivo de filtro 38. En esta fusión, la información sobre el objeto diana, por ejemplo, fluye como información de

movimiento, que se obtiene mediante mediciones de un radar que observa el objeto diana o que se obtiene como resultado de un procesamiento de imágenes de seguimiento aproximado (no mostrado). Además, en función del tipo de objeto diana y la maniobra que vuele al objeto diana, se pueden aplicar y calcular distintos filtros en paralelo y con la ayuda de una estrategia adecuada se puede seleccionar el filtro que se adapte de manera óptima a la situación actual.

El resultado del filtro se usa para precontrolar el espejo piezoeléctrico según el movimiento diana estimado con el fin de minimizar los errores de seguimiento. En el caso ideal (teórico), si el modelo de filtro coincide exactamente con el movimiento del punto de alta energía en la diana, las perturbaciones se compensan por completo sin que el algoritmo de mando se active.

10 En la práctica, seguirá habiendo desviaciones debido a errores de modelado y dinámicas no modeladas. La supresión de estas desviaciones es tarea del elemento de mando de seguimiento de precisión 39. Dado que el dispositivo de filtro 38 en la estructura mostrada en la figura 2 se usa en paralelo al elemento de mando de seguimiento de precisión 39, el algoritmo de mando puede continuar reaccionando a componentes de mayor frecuencia.

15 **[0062]** Además de la posición actual del punto de detención en la imagen, el algoritmo de mando también recibe información sobre el tiempo muerto introducido por el procedimiento de procesamiento de imágenes, como la integración de imágenes, de modo que el algoritmo de mando se puede adaptar en consecuencia.

[0063] El resultado de filtro también se utiliza para apoyar el cálculo del procesamiento de imágenes mediante una inicialización adecuada del procesamiento de imágenes. Esto es particularmente ventajoso para procesos iterativos (por ejemplo, procesos de deformación). Esto aumenta la consistencia frente a una pérdida de la diana y se minimiza el número de iteraciones necesarias del procedimiento de procesamiento de imágenes.

[0064] Las referencias en las reivindicaciones, la descripción y los dibujos sirven solo para la mejor comprensión de la invención y no deben limitar el alcance de protección.

Lista de referencias

[0065] Muestran:

- 30
- 1 Radiador de alta energía
 - 2 Dispositivo de iluminación
 - 3 Dispositivo de captura de imágenes
 - 10 Primer cristal deflector (Dispositivo de desacoplamiento de radiación)
 - 35 11 Dispositivo de control
 - 12 Segundo cristal deflector (Dispositivo de corrección óptica)
 - 14 Dispositivo de enfoque
 - 20 Láser de iluminación
 - 30 Cámara de alta velocidad
 - 40 32 Línea de señales
 - 34 Dispositivo de procesamiento de imágenes
 - 36 Dispositivo de mando
 - 38 Dispositivo de filtro
 - 39 Elemento de mando de seguimiento de precisión
 - 45 A Atmósfera
 - B Haz de iluminación
 - B' Radiación de iluminación reflejada
 - E Resultado de filtro
 - H Punto de detención
 - 50 K Señal de corrección
 - L Haz láser de alta energía
 - P Trayectoria óptica
 - S Punto de radiación
 - T Turbulencias
 - 55 V Dispositivo
 - Z Objeto diana

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para estabilizar localmente un punto de radiación (S) en un objeto diana distante (Z), donde el punto de radiación (S) se forma a partir de un haz láser de alta energía (L) que se dirige al objeto diana (Z) por medio de un radiador de alta energía (1), y donde el objeto diana (Z) está iluminado por un haz de iluminación (B) que se dirige al objeto diana (Z) por medio de un dispositivo de iluminación (2);
- donde un dispositivo de captura de imágenes (3) recibe una radiación reflejada (B') por el objeto diana (Z) iluminado por el haz de iluminación (B), después de pasar a través de una trayectoria óptica (P), a través de la cual también pasa el haz láser de alta energía (L);
 - donde la imagen del objeto diana iluminado (Z) o una parte del objeto diana iluminado capturada por el dispositivo de captura de imágenes (3) se analiza mediante un dispositivo de procesamiento de imágenes (34) y con al menos una imagen del objeto diana iluminado (Z) o una parte del objeto diana iluminado generada en un punto anterior en el tiempo o se compara con una imagen almacenada en una base de datos de objetos;
 - donde el resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes (34) se carga a un dispositivo de filtro (38) y en paralelo a un elemento de mando de seguimiento de precisión (39);
 - donde el dispositivo de filtro (38), mediante el uso de un modelo de movimiento para el punto de radiación (S) en el objeto diana (Z) y del resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes (34), predice el desplazamiento del punto de radiación (S) desde el punto de detención en el siguiente período de tiempo y genera una señal de corrección de filtro, donde un movimiento tenido en cuenta en el modelo de movimiento se compone de partes de un movimiento del objeto diana (Z) e influencias de turbulencia;
 - donde el elemento de mando de seguimiento de precisión (39), mediante el uso del resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes (34), compensa los errores residuales remanentes y genera una señal de corrección de elemento de mando;
 - donde se forma una señal de corrección (K) a partir de la señal de corrección de filtro y la señal de corrección de elemento de mando; y
 - donde la señal de corrección (K) actúa sobre un dispositivo de corrección óptica (12) dispuesto en la trayectoria óptica (P) por la que pasan el haz láser de alta energía (L) y la radiación reflejada (B').
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes (34) comprende un desplazamiento determinado del punto de radiación desde el punto de detención y/o parámetros de deformación con una marca de tiempo.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la señal de corrección (K) se determina sumando la señal de corrección de filtro a la señal de corrección de elemento de mando.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la activación del filtro y, por lo tanto, la determinación de una señal de corrección de filtro tienen lugar a una cadencia mayor que la cadencia del procesamiento de imágenes y, así, se reducen los errores de seguimiento debidos a tiempos muertos.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** además del resultado del procesamiento de imágenes, los valores de medición de una medición de radar del objeto diana y/o los valores de medición de un procesamiento de imágenes de seguimiento aproximado también se incorporan al filtro como valores de medición adicionales.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el algoritmo de mando, mediante el uso de la marca de tiempo, se adapta al tiempo muerto actual.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el elemento de mando de seguimiento de precisión (39) se activa con la cadencia del procesamiento de imágenes y porque el dispositivo de filtro (38) se activa con una cadencia mayor que la cadencia de procesamiento de imágenes.
8. Dispositivo para la estabilización local de un punto de radiación (S) en un objeto diana distante (Z) según un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que presenta
- un dispositivo de iluminación (2) para emitir un haz de iluminación (B) sobre un objeto diana (Z);

- un láser de alta energía (1) para emitir un haz láser de alta energía (L) en el objeto diana (Z);
- un dispositivo de corrección óptica (12) que está previsto en la trayectoria óptica (P) del haz láser de alta energía (L) y que puede controlarse por medio de un dispositivo de mando (36);
- 5 - un dispositivo de desacoplamiento de radiación (10) que está previsto en la trayectoria óptica (P) del haz láser de alta energía (L) y que está diseñado para desacoplar una radiación recibida (B') como reflejo del haz de iluminación (B) fuera de esta trayectoria óptica (P) y conducirla a un dispositivo de captura de imágenes (3); y
- un dispositivo de procesamiento de imágenes (34) que está conectado al dispositivo de captura de imágenes (3) para la transmisión de una señal de imagen mediante este segundo dispositivo y que está previsto del dispositivo de mando (36), el cual está diseñado para generar una señal de corrección y está conectado con un dispositivo de control (11) para el dispositivo de corrección óptica (12) para la transmisión de la señal de corrección (K);
- 10 - donde el dispositivo de mando (36) presenta un dispositivo de filtro (38) y un elemento de mando de seguimiento de precisión (39) dispuesto paralelo al mismo;
- donde el dispositivo de filtro (38) está diseñado para, mediante el uso de un modelo de movimiento para el punto de radiación (S) en el objeto diana (Z) y del resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes (34), predecir el desplazamiento del punto de radiación (S) desde el punto de detención en el siguiente periodo de tiempo, donde un movimiento tenido en cuenta en el modelo de movimiento se compone de partes de un movimiento del objeto diana (Z) e influencias de turbulencia; y
- 15 - donde el elemento de mando de seguimiento de precisión (39) está diseñado para, mediante el uso del resultado de la comparación realizada en el dispositivo de procesamiento de imágenes (34), compensar los errores residuales remanentes.
- 20

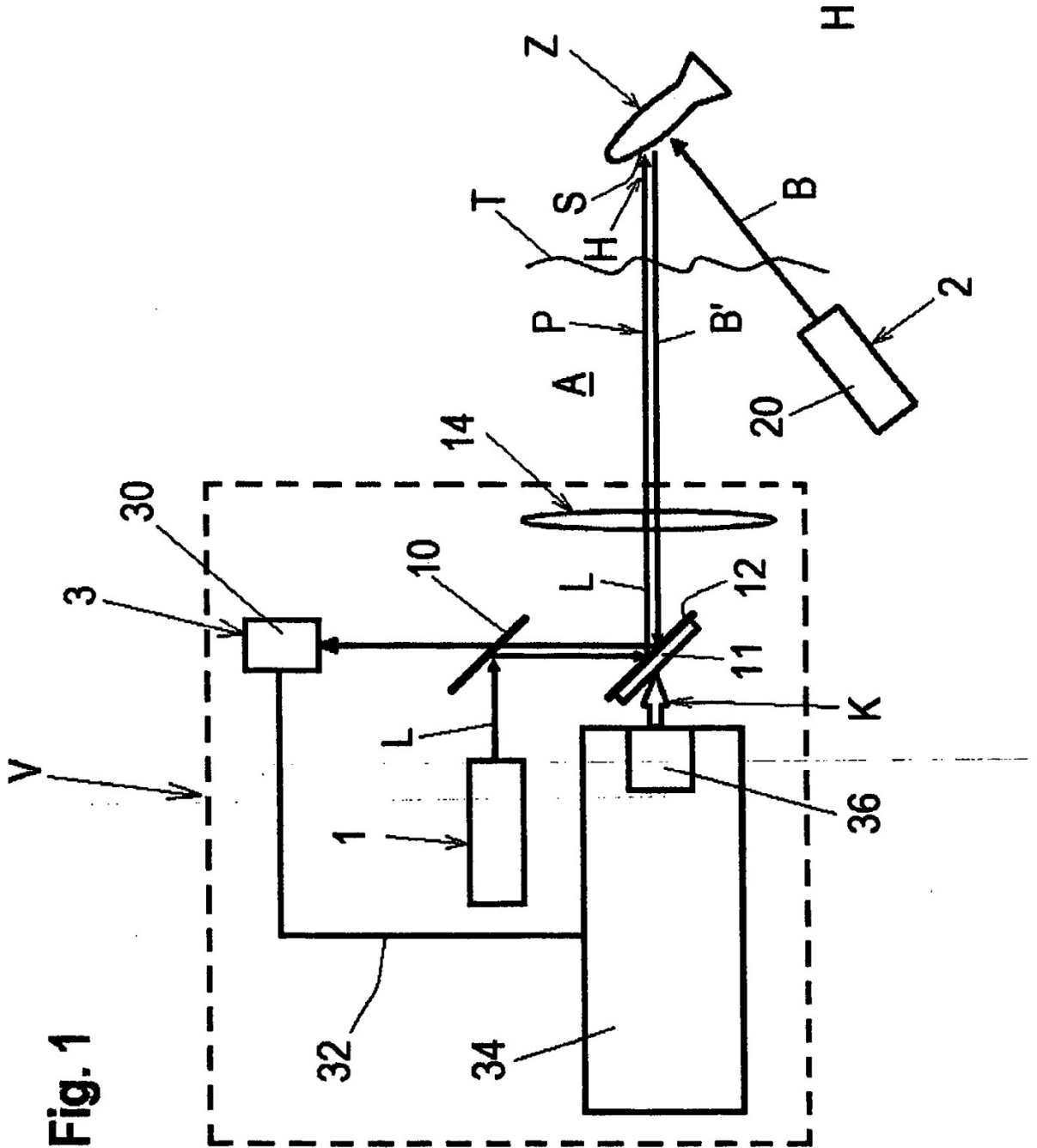


Fig. 2

