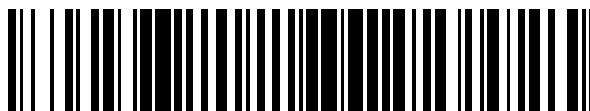


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 995**

51 Int. Cl.:

F41G 3/08 (2006.01)

F41H 13/00 (2006.01)

F41G 3/14 (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 15003427 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020** **EP 3034985**

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

30 Prioridad:

19.12.2014 DE 102014018803

08.08.2015 DE 102015010275

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

22.01.2021

73 Titular/es:

MBDA DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)

Hagenauer Forst 27

86529 Schrobenhausen, DE

72 Inventor/es:

KEFFERPUETZ, KLAUS;
KALENDER, CAROLYN y
ZOZ, JÜRGEN

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 802 995 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

- [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.

- [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:

- 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;
- Manchado intenso de los contornos de la diana, p. ej., debido a turbulencias, situaciones de iluminación heterogéneas de la diana o efectos moteados.

- [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.

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.

- [0006]** En el campo del procesamiento de imágenes, los procedimientos comunes son medir el centro de gravedad de la imagen del objeto diana en la imagen capturada por el dispositivo de captura de imágenes o, alternativamente, evaluar un detector de cuatro cuadrantes.

- [0007]** 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.

- [0008]** 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 resuelven el problema de la variación temporal del brillo de la superficie.

[0009] Además, el documento US 7 405 834 B1 describe un procedimiento de formación de imágenes y un sistema asociado para generar imágenes de alta resolución. Además, el documento US 2010/0282942 A1 describe un subsistema de control de radiación que presenta una fuente láser de alta energía. En el extracto de «Bayesian statistical approaches to tracking through turbulences» de Fitzpatrick, American Control Conference 2004, Proceedings of the 2004 Boston, MA; USA June 30 - July 2, 2004, Piscataway, NJ, USA IEEE, 30 de junio de 2004, página 1499, se describe el uso de procedimientos estadísticos bayesianos en sistemas de seguimiento óptico. Además, el documento US 2012/292481 A1 describe un sistema de imágenes que presenta un transmisor láser diseñado para emitir luz en forma de un gran número de haces parciales sobre una diana. El documento US 2009/097508 A1 describe nuevamente una disposición de láser de fibra que presenta una multiplicidad de láseres de fibra individuales coherentes que funcionan continuamente. Además, se describe un sistema de control de haz de láser en el documento US 2011/103410 A1, que presenta una abertura de salida a través de la cual se dirige un haz de láser hacia una diana.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[0010] 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.

[0011] 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.

[0012] Este procedimiento según la invención para la estabilización local de un punto de radiación en un objeto diana distante, donde el punto de radiación está formado por un haz láser de alta energía, que se dirige al objeto diana mediante un radiador de alta energía, y donde el objeto diana se ilumina mediante un haz de iluminación, que se dirige hacia la diana mediante un dispositivo de iluminación sobre el objeto diana, caracterizado porque un dispositivo de captura de imagen recibe una radiación reflejada por el objeto diana iluminado por el haz de iluminación, porque la radiación reflejada desde el objeto diana hasta el dispositivo de captura de imágenes atraviesa la misma trayectoria óptica que el haz láser de alta energía, porque la imagen del objeto diana iluminado o de parte una del objeto diana capturada por el dispositivo de captura de imágenes se analiza y se compara con al menos una imagen del objeto diana iluminado o de una parte del objeto diana generada en un momento anterior o con una imagen almacenada en una base de datos de objetos, donde el análisis de la imagen capturada se lleva a cabo mediante al menos un procedimiento de deformación de imagen, para el cual se utiliza una imagen de plantilla y porque a partir de esta comparación se determina una señal de corrección con la que se carga un dispositivo de corrección óptica dispuesto en la trayectoria óptica por la que pasan conjuntamente el haz láser de alta energía y la radiación reflejada, donde se realiza un pronóstico para una perturbación de imagen futura debido a la comparación de las imágenes del objeto diana iluminado (Z) o una de parte del objeto diana iluminado capturadas o generadas en distintos momentos, y donde la señal de corrección se determina teniendo en cuenta la perturbación de imagen pronosticada.

[0013] 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

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 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.

5

[0017] 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.

10 **[0018]** Otras características de realizaciones adicionales preferidas y ventajosas del procedimiento según la invención son el tema de las reivindicaciones dependientes 2 a 5.

[0019] Es particularmente ventajoso si el haz de iluminación presenta una longitud de onda que se desvíe del haz de láser de alta energía.

15

[0020] Es ventajoso que, debido a la comparación de las imágenes del objeto diana iluminado o de una parte del objeto diana iluminado registrado o generado en distintos momentos, se haga el pronóstico para una perturbación de la imagen prevista y si la señal de corrección se determina teniendo en cuenta la perturbación de la imagen prevista.

20 **[0021]** La imagen capturada se analiza mediante al menos un procedimiento de deformación de imagen. Se crea una imagen de plantilla deformada de la imagen. Esto permite ver la imagen desde un punto de vista distinto en la imagen de plantilla deformada de la imagen capturada. Se utiliza una imagen de plantilla del objeto diana para analizar la imagen mediante un procedimiento de deformación de imagen.

25 **[0022]** Una comparación de la imagen capturada con la imagen de plantilla deformada permite sacar conclusiones sobre los efectos de turbulencia. Mediante procedimientos de deformación, como el procedimiento Lukas-Kanade [Lucas, B. D., Kanade, T.: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Proceedings of Imaging understanding workshop, pp 121-130, 1981], pueden determinarse, por ejemplo, las traslaciones, las rotaciones y la escala de manera sólida a partir de una imagen de plantilla. El tipo y la cantidad de
30 movimientos y transformaciones permitidos (parámetros de deformación) pueden variar según el problema, por lo que también se pueden tener en cuenta los fenómenos proyectivos.

[0023] Preferentemente, se minimiza la desviación de píxeles cuadrada entre la imagen capturada y la imagen de plantilla deformada. Esto logra el objetivo de minimizar la desviación de píxeles cuadrada sumados entre la imagen
35 de plantilla deformada y la imagen capturada. Esta coincidencia (*matching*) en todos los píxeles de la imagen de plantilla (y no solo en las características individuales, como los bordes) garantiza un comportamiento insensible frente a la variación del brillo de la superficie (como, p. ej., la interferencia debida a manchas) y al engrase de los contornos. La imagen de plantilla se puede formar con una función de aprendizaje.

40 **[0024]** El pronóstico para una perturbación de imagen futura se basa preferentemente en el análisis de solo una parte de la imagen capturada.

[0025] Dentro del alcance de una realización adicional del procedimiento según la invención, es posible que no todas las desviaciones de píxeles se consideren de igual valor en la función diana, es decir, los píxeles se ponderan
45 de manera distinta.

[0026] Es ventajoso usar una imagen de plantilla más grande para la detección de todo el objeto diana en la imagen capturada por el dispositivo de captura de

50 **[0027]** imágenes en un procedimiento de múltiples etapas y luego usar una subplantilla con una sección de imagen para estimar la turbulencia local.

[0028] Las imágenes de plantilla se pueden almacenar en una base de datos basada en modelos, extraídos de imágenes de aprendizaje adaptativo de la cámara de alta velocidad y adaptadas una y otra vez en el curso del
55 procedimiento de estimación.

[0029] También es ventajoso si el haz de iluminación emitido por el dispositivo de iluminación es un haz de láser.

60 **[0030]** La parte del objeto dirigida al dispositivo se logra mediante un dispositivo que tiene las características de la reivindicación 6.

[0031] 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
65 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.

10 **[0032]** 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.

15 **[0033]** Otras características de diseño preferidas y ventajosas del dispositivo según la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes 7 y 8.

20 **[0034]** Es ventajoso si el dispositivo de captura de imágenes está formado por una cámara de alta velocidad o presenta una. Esto permite un análisis particularmente de precisión de las influencias de turbulencia en la radiación recibida y, por lo tanto, un pronóstico más de precisión de los efectos en el haz láser de alta energía.

25 **[0035]** En otro desarrollo ventajoso, el dispositivo de corrección óptica está formado o presenta un espejo de punta/inclinación. Alternativamente, es posible controlar un espejo deformable para compensar los modos más altos.

30 **[0036]** 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.

35 **[0037]** 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.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0038] En los cuales:

35 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,

40 La figura 2 muestra un protocolo de medición de la desviación real del punto de radiación formado por el láser de alta energía en el objeto diana y la desviación calculada mediante el procedimiento de procesamiento de imagen y

La figura 3 muestra la correlación de las desviaciones de la figura 2.

DESCRIPCIÓN DE EJEMPLOS DE REALIZACIÓN PREFERIDOS

45 **[0039]** La figura 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.

50 **[0040]** 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.

60 **[0041]** 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 desvía 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

5 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 de la desviación del punto diana relacionado con la turbulencia del haz láser de alta energía L.

10 **[0042]** 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.

15 **[0043]** 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

20 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.

[0044] 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.

25 **[0045]** 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

30 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.

[0046] 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

35 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

40 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

45 espejo de punta/inclinación.

[0047] 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.

50 **[0048]** 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

55 permanece casi constante.

[0049] 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

60 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.

[0050] El punto clave del procedimiento según la invención que se muestra y describe como ejemplo es la

65 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.

[0051] 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.

[0052] 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 utilizando 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.

[0053] 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).

[0054] 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.

[0055] 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»).

[0056] 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.

[0057] 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 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.

[0058] 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. Los desplazamientos desde el punto de detención (determinado por el procedimiento de deformación) y el

centro de gravedad del punto láser de alta energía se pueden ver en la figura 2. Allí, la línea más clara (BV) muestra la ubicación del punto de detención H del procedimiento de deformación y la línea más oscura (HEL) la ubicación del centro de gravedad del haz láser de alta energía, cada uno desde el centro de la imagen.

5 **[0059]** La figura 3 muestra la correlación de los desplazamientos, es decir los dos trazados, de la figura 2 en la dirección x y en la dirección y, lo que confirma la funcionalidad de la estrategia para la estimación de turbulencias según la invención y, por lo tanto, la compensación de errores de turbulencia llevada a cabo.

10 **[0060]** 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

- 15 **[0061]** Muestran:
- 1 Radiador de alta energía
 - 2 Dispositivo de iluminación
 - 3 Dispositivo de captura de imágenes
 - 10 Primer cristal deflector (Dispositivo de desacoplamiento de radiación)
 - 20 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
 - 25 32 Línea de señales
 - 34 Dispositivo de procesamiento de imágenes
 - 36 Dispositivo de mando
 - A Atmósfera
 - 30 B Haz de iluminación
 - B' Radiación de iluminación reflejada
 - H Punto de detención
 - K Señal de corrección
 - L Haz láser de alta energía
 - 35 P Trayectoria óptica
 - S Punto de radiación
 - T Turbulencias
 - 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); **caracterizado porque**,
 - un dispositivo de captura de imágenes (3) recibe una radiación reflejada (B') por el objeto (Z) iluminado por el haz de iluminación (B);
 - 10 - la radiación reflejada (B') desde el objeto diana (Z) hasta el dispositivo de captura de imágenes (3) atraviesa la misma trayectoria óptica (P) que el haz láser de alta energía (L);
 - la imagen del objeto diana iluminado (Z) o de una parte del objeto diana iluminado capturada por el dispositivo de captura de imágenes (3) se analiza y se compara con al menos una imagen del objeto diana iluminado (Z) o de una parte del objeto diana iluminado generada en un punto anterior en el tiempo o con una imagen almacenada en una base de datos de objetos, donde el análisis de la imagen capturada se lleva a cabo mediante al menos un procedimiento de deformación de imagen, para el cual se utiliza una imagen de plantilla;
 - 15 - a partir de esta comparación, se determina una señal de corrección con la que se carga un dispositivo de corrección óptica (12) dispuesto en la trayectoria óptica (P) por la que pasan conjuntamente el haz láser de alta energía (L) y la radiación reflejada (B'),
 - 20 donde se realiza un pronóstico para una perturbación de imagen futura debido a la comparación de las imágenes del objeto diana iluminado (Z) o de una parte del objeto diana iluminado capturadas o generadas en distintos momentos y donde la señal de corrección se determina teniendo en cuenta la perturbación de imagen pronosticada.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el haz de iluminación (B) presenta una longitud de onda que se desvía del haz láser de alta energía (L).
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**
30 se minimiza la desviación de píxeles cuadrada entre la imagen capturada y la imagen de plantilla deformada.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**
35 el pronóstico para una perturbación de imagen futura se basa en el análisis de solo una parte de la imagen capturada.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el haz de iluminación (B) emitido por el dispositivo de iluminación (2) es un haz láser.
- 40 6. Dispositivo para la estabilización local de un punto de radiación (S) en un objeto diana distante (Z) para llevar a cabo un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por**
 - un dispositivo de iluminación (2) para emitir un haz de iluminación (B) sobre un objeto diana (Z),
 - 45 - un láser de alta energía (1) para emitir un haz láser de alta energía (L) sobre el objeto diana (Z),
 - un dispositivo de captura de imágenes (3) que recibe una radiación reflejada (B') por el objeto diana (Z) iluminado por el haz de iluminación (B),
 - 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),
 - 50 - 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 la radiación (B') recibida como reflejo del haz de iluminación (B) fuera de esta trayectoria óptica (P) y conducirla al dispositivo de captura de imágenes (3), donde la radiación (B') reflejada desde el objeto diana (Z) hacia el dispositivo de captura de imágenes (3) discurre a través de la misma trayectoria óptica (P) que el haz láser de alta energía (L) y
 - 55 - 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 (12) para la transmisión de la señal de corrección (K), donde el dispositivo de procesamiento de imágenes (34) analiza la imagen del objeto diana iluminado (Z) o de una
 - 60 parte del objeto diana iluminado capturada por el dispositivo de captura de imágenes (3), y la compara con al menos una imagen del objeto diana iluminado (Z) o de una parte del objeto diana iluminado generada en un punto anterior en el tiempo o con una imagen almacenada en una base de datos de objetos, donde el análisis de la imagen capturada se lleva a cabo mediante al menos un procedimiento de deformación de imágenes, para el cual se utiliza una imagen de plantilla, donde el dispositivo de procesamiento de imágenes (34), a partir de esta comparación, determina la señal
 - 65 de corrección con la que se carga el dispositivo de corrección óptica (12) dispuesto en la trayectoria óptica (P) por la

que pasan conjuntamente el haz láser de alta energía (L) y la radiación reflejada (B'),
donde el dispositivo de procesamiento de imágenes (34) realiza un pronóstico para una perturbación de imagen futura
debido a la comparación de las imágenes del objeto diana iluminado (Z) o de una parte del objeto diana iluminado
captadas o generadas en distintos momentos, y donde la señal de corrección se determina teniendo en cuenta la
5 perturbación de imagen pronosticada.

7. Procedimiento según la reivindicación 6,
caracterizado porque
el dispositivo de captura de imágenes (3) está formado por o presenta una cámara de alta velocidad.
- 10 8. Procedimiento según la reivindicación 6 o 7,
caracterizado porque
el dispositivo de corrección óptica (12) está formado por o presenta un espejo de punta/inclinación.

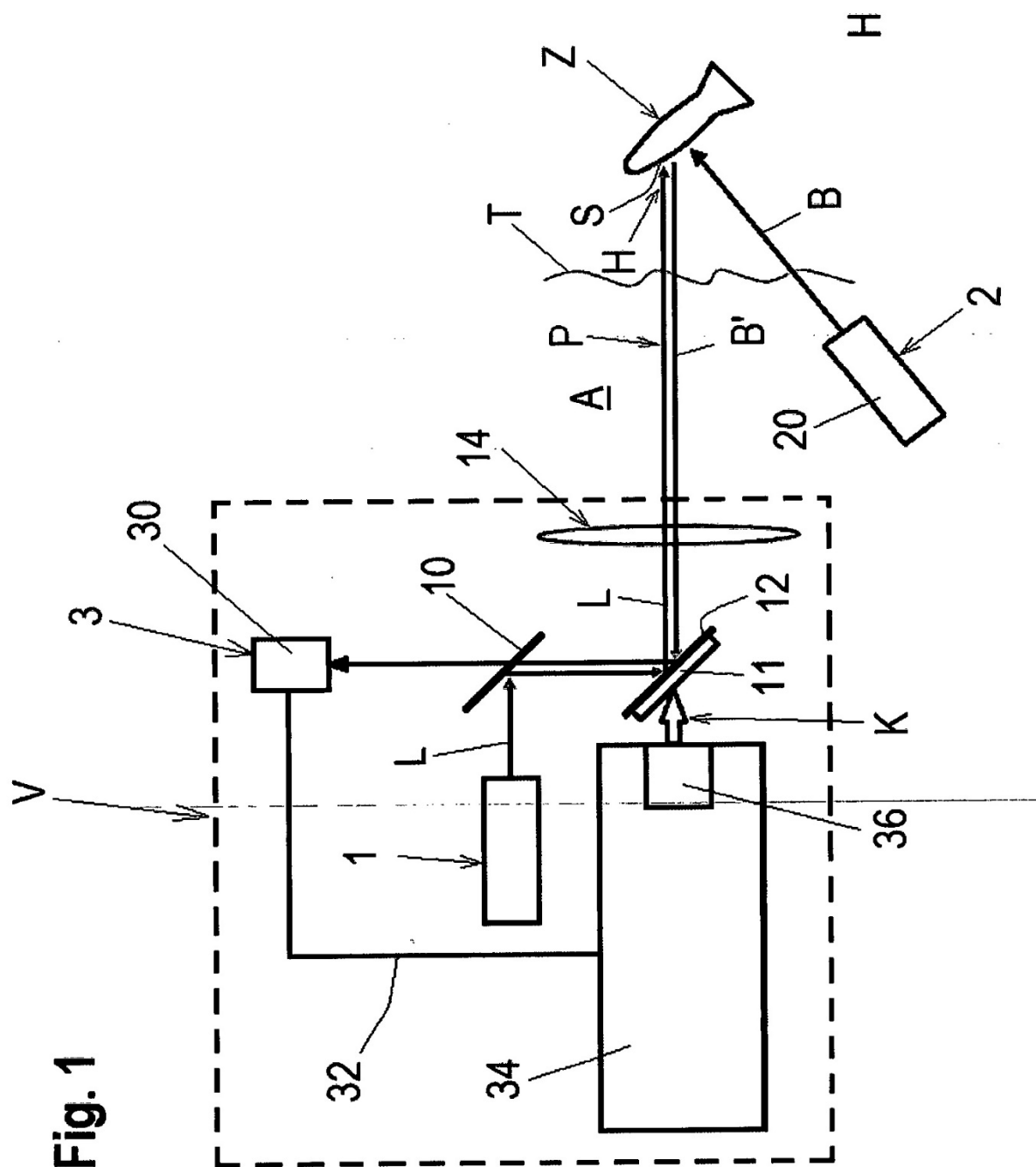


Fig. 1

Fig. 2

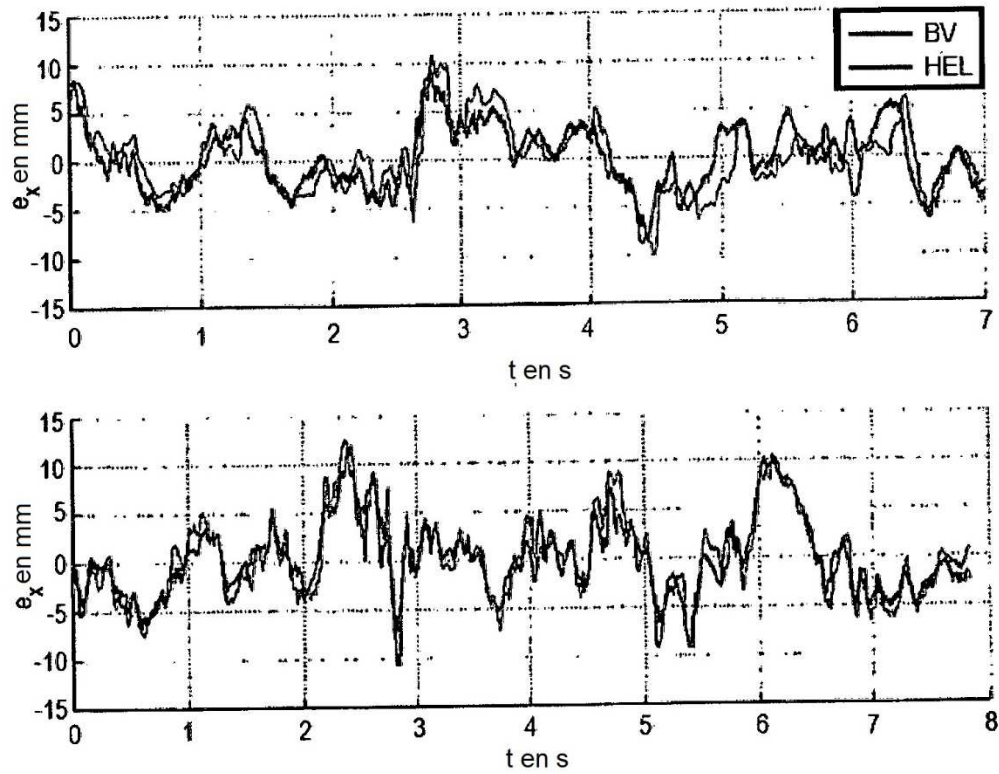


Fig. 3

