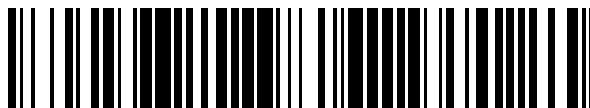


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 747**

21 Número de solicitud: 201100111

51 Int. Cl.:

**H04B 10/112** (2013.01)

12

# PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**31.01.2011**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**29.08.2012**

Fecha de la concesión:

**02.07.2013**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**12.07.2013**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (100.0%)  
PLAZA DE EL EJIDO, S/N  
29071 MÁLAGA (Málaga) ES**

72 Inventor/es:

**ROMERO SÁNCHEZ , Jorge ;  
FERNÁNDEZ RAMOS , Raquel ;  
RÍOS GÓMEZ , Francisco Javier ;  
MARTÍN CANALES , Jose Francisco y  
MARÍN MARTÍN , Francisco Javier**

54 Título: **Aparato y procedimiento de seguimiento de haces láser enfrentados**

57 Resumen:

Aparato y procedimiento de seguimiento de haces láser enfrentados, polarizados con irradiancia anular y emitidos por dos transceptores ópticos (24, 24'). El procedimiento comprende:

- inicializar una variable  $\epsilon$ ;
- iterar mientras  $\epsilon > \epsilon_{\min}$ :
  - adquirir el valor local de la potencia  $P_r$  recibida por el aparato receptor (6) en la iteración n,
  - estimar el vector gradiente de potencia  $\nabla P_r^n = (\nabla_{\theta}^n, \nabla_{\phi}^n)$  en la posición actual de la iteración  $n(\theta_r^n, \phi_r^n)$ ,
  - obtener las variaciones  $\delta_{\theta}^{n+1}$  y  $\delta_{\phi}^{n+1}$  en el ángulo de elevación  $\theta$  y de acimut  $\phi$ , respectivamente, que hay que realizar desde la posición actual en la iteración  $n(\theta_r^n, \phi_r^n)$ , para aproximarse al máximo de potencia en la siguiente iteración n+1;
  - actuar sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado (3) para posicionar el tubo reflector catadióptrico (25) en la posición  $(\theta_r^n + \delta_{\theta}^{n+1}, \phi_r^n + \delta_{\phi}^{n+1})$ ;
  - actualizar el valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente  $\epsilon$ .

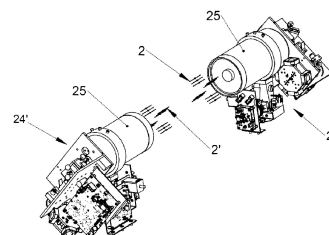


Fig. 2

ES 2 386 747 B1

## DESCRIPCIÓN

**Aparato y procedimiento de seguimiento de haces láser enfrentados**Campo de la invención

La invención presentada se enmarca en el campo de la industria mecánica, electrónica y óptica en aplicaciones de instrumentación de control para el seguimiento de haces luminosos.

Antecedentes de la invención

Unos de los problemas más comunes en ingeniería es encontrar solución al alineamiento entre objetos en el espacio. El alineamiento entre ejes de revolución, alas de un avión o elementos de construcción son ejemplos típicos. La aplicación de láseres de estado sólido en la industria para solucionar problemas de alineamiento con el fin de conocer el desplazamiento de una línea o de un plano de referencia, ha desechado a otros métodos mecánicos y/u ópticos más complicados o tediosos. Estas aplicaciones son posibles por las propiedades de la radiación láser: su directividad y su alta radiancia.

Los sistemas de seguimiento basados en láser se utilizan en un amplio abanico de aplicaciones industriales en las que es necesario precisar o medir la posición de un objeto en movimiento o susceptible de moverse. Distingamos entre los sistemas de alineamiento y los de seguimiento. Mientras los primeros se limitan a situar a los sistemas en un eje concreto común del espacio, los segundos tratan de, una vez alineados, mantenerlos en línea a lo largo del tiempo mediante procedimientos electrónicos, ópticos y mecánicos.

Las comunicaciones ópticas en el espacio libre mediante haces láser modulados se presentan como una alternativa a la fibra óptica y al cable si éstos ofrecen parámetros de calidad similares. Un transceptor láser es un sistema que establece una comunicación óptica bidireccional. Los transceptores ópticos se sitúan en las cubiertas de los edificios anclados a estructuras sólidas. Sin embargo, estas estructuras están sometidas a cambios espaciales provocados por los movimientos geodinámicos de la cimentación y fenómenos de dilatación-compresión provocados por los cambios térmicos entre el día y la noche. Si dos transceptores remotos situados a gran distancia (más de 100 metros), se alinean de forma efectiva estableciendo comunicación, los fenómenos mencionados desvían el haz haciendo que la comunicación se degrade o se pierda. Hemos de evitar esta situación planteando soluciones dinámicas de seguimiento del haz que mantengan el enlace

óptimo con independencia de los posibles movimientos de las estructuras que soportan a los transceptores.

La presente invención soluciona dicho problema del seguimiento del haz láser entre dos transceptores ópticos remotos. El objeto del aparato y procedimiento de seguimiento que aquí se presenta es el mantenimiento de los haces enfrentados con independencia de los posibles movimientos que puedan existir en las bases que sustentan a dichos aparatos de seguimiento.

#### Descripción de la invención

La presente invención consiste en un aparato y un procedimiento de seguimiento de haces láser enfrentados basado en control embebido. El aparato de seguimiento está instalado en un transceptor óptico que consta de un sistema de guiado micrométrico electrónicamente controlado sobre el que se sustenta un aparato duplexor óptico que permite la transmisión y recepción simultánea de haces láser. Así, el aparato duplexor óptico de un transceptor óptico transmite un haz láser y recibe a la vez otro haz láser procedente de un aparato duplexor de un transceptor óptico homólogo. El procedimiento de seguimiento de haz que aquí se describe implica a dos haces láser enfrentados que se alinean inicialmente y después se siguen mutuamente para permanecer alineados en el tiempo. El algoritmo de seguimiento se aplica por duplicado en cada pareja transmisor-receptor y actúa de forma independiente en cada una de ellas.

El aparato de guiado micrométrico permite el movimiento de elevación,  $\theta$  y de acimut  $\varphi$  con precisión del microradián, siendo activado por drivers en sus correspondientes motores mediante un microcontrolador.

El aparato transmisor es un circuito electrónico basado en un láser de estado sólido que emite un haz de potencia  $P_t$  controlado por un microcontrolador. El aparato receptor es un circuito electrónico que gestiona la potencia recibida  $P_r$  por un fotodiodo de avalancha mediante un microcontrolador.

Consideremos una pareja de aparatos de seguimiento situados a una distancia  $R$ , uno de ellos actuando como transmisor enviando una potencia  $P_t$ , y otro como receptor recibiendo una potencia  $P_r$ .

El procedimiento de seguimiento presentado se basa en la ecuación de transmisión de Friis aplicada a un sistema óptico. Esta ecuación determina la potencia

recibida por un sistema radiante en función de la transmitida por otro sistema radiante. La potencia  $P_r$  recibida por el receptor viene dada por:

$$P_r = P_t(1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2)\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 D_t(\theta_t, \varphi_t) D_r(\theta_r, \varphi_r) |u_t \cdot u_r|^2 \quad (1)$$

5 siendo  $P_t$  la potencia transmitida,  $\Gamma_t$  y  $\Gamma_r$  los coeficientes de pérdidas por reflexión,  $\lambda$  la longitud de onda,  $R$  la separación entre el transmisor y el receptor,  $D_t$  y  $D_r$  los diagramas de radiación o directividades del transmisor y receptor respectivamente,  $\theta_{t,r}$  y  $\varphi_{t,r}$  los ángulos de elevación y acimut del transmisor y del receptor,  $u_t$  y  $u_r$  los vectores de polarización del transmisor y del receptor.

10 Considerando que no existen cambios en las reflexiones, polarizaciones y directividad del transmisor podemos simplificar la ecuación (1) a:

$$P_r = K D_r(\theta_r, \varphi_r) \quad (2)$$

15 donde  $K$  es una constante en primera instancia que engloba todos los factores antes mencionados. En estas circunstancias, la potencia recibida  $P_r$  es proporcional al diagrama de radiación del receptor independientemente de la orientación del transmisor.

20 Distingamos entre proceso de alineamiento y proceso de seguimiento. En el primero, se debe fijar un origen de coordenadas que determinará un valor máximo de la potencia recibida. El proceso de alineamiento debe hacerse manualmente por medios ópticos antes de realizar el proceso de seguimiento. Si el valor de la potencia recibida es  $P_r(\theta_r, \varphi_r)$ , el objetivo es conseguir el máximo que ocurre en  $(\theta_r, \varphi_r) = (0, 0)$ . Una vez alineado este valor será el origen de coordenadas y el objetivo de maximizar la potencia recibida se verá cumplido.

25 Un cambio en la dirección del transmisor implica un desplazamiento de coordenadas desde la posición  $(\theta_r, \varphi_r)$  a la posición  $(\theta_r - \delta_\theta, \varphi_r - \delta_\varphi)$ . El proceso de seguimiento implica determinar los valores de  $\delta_\theta$  y  $\delta_\varphi$  mediante el procedimiento objeto de esta invención y hacer que esas diferencias sean lo más pequeña posibles. Las variables  $\delta_\theta$  y  $\delta_\varphi$  son dependientes del tiempo ( $\delta_\theta(t)$  y  $\delta_\varphi(t)$ ), por lo que el  
30 mecanismo de seguimiento es un proceso dinámico.

La búsqueda del máximo debe hacerse en coordenadas polares y el proceso de búsqueda debe ser secuencial. El método que se presenta en esta invención está

basado en una técnica de maximización conocida como 'método del gradiente' que consiste en iterar sucesivamente la siguiente ecuación:

$$\begin{pmatrix} \theta^{n+1} \\ \varphi^{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta^n \\ \varphi^n \end{pmatrix} + h \cdot \nabla P_r(\theta^n, \varphi^n) \quad (3)$$

- 5 siendo  $n$  el número de iteración,  $h$  un escalar que indica la longitud del paso en cada iteración (dimensionado en unidades angulares por unidad de potencia) y  $\nabla$  el operador gradiente. A medida que iteramos la ecuación nos acercamos cada vez más a la posición objetivo  $(\delta_\theta, \delta_\varphi)$ .

El aparato de seguimiento está controlado por un microcontrolador que actúa  
10 sobre un aparato de guiado micrométrico que dirige a un sistema óptico basado en un aparato duplexor que focaliza el haz láser recibido, siendo éste procesado por un aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha que estima la potencia del haz  $P_r$ . A la vez, el aparato de seguimiento dirige a un aparato transmisor que emite un haz láser de potencia  $P_t$  que se focaliza a través del mismo sistema óptico duplexor hacia  
15 otro aparato de seguimiento remoto que realiza la misma función. Se forma así un par de aparatos de seguimiento situados en puntos remotos que emiten y reciben haces láser enfrentados.

El microcontrolador que ejecuta el procedimiento de seguimiento se encuentra insertado en un lazo de control que incluye a los drivers que actúan sobre los motores  
20 paso a paso de elevación y acimut de un aparato de guiado pudiendo actuar en ellos fijando los valores angulares  $\theta_r$  y  $\varphi_r$  respectivamente tras un proceso de alineamiento e inicialización. Por otro lado, el microcontrolador recibe la información del valor de la potencia recibida  $P_r$  suministrada por el aparato receptor. Dada una posición angular, la potencia recibida será  $P_r(\theta_r, \varphi_r)$ .

25 El microcontrolador aplica el procedimiento de seguimiento cada cierto intervalo de tiempo o de muestreo. Éste ha de ser inferior a la cota que verifica la condición de Nyquist; es decir, si  $f_s$  es la máxima frecuencia esperada en la variación de la posición del máximo de potencia, el período de muestreo  $T_m$ , ha de cumplir  $T_m < 0.5/f_s$ . Para estimar dicho intervalo de muestreo es necesario almacenar el valor de  
30  $P_r(\theta_r, \varphi_r)$  sin activar el proceso de seguimiento (en bucle abierto), de manera que se tenga una estimación de la evolución temporal del valor del máximo. A continuación se realiza un análisis espectral para extraer  $f_s$  y, por tanto, el valor de  $T_m$ . Por otro lado, una vez activo el proceso de seguimiento, el microcontrolador también realiza el almacenamiento de las posiciones del máximo que representan la evolución de la

trayectoria angular del sistema a lo largo del tiempo. Datos interesantes que podrán ser utilizados para la optimización de los parámetros del procedimiento de seguimiento que aquí se presenta.

## 5 Breve descripción de los dibujos

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

10 La Figura 1 muestra un aparato de seguimiento instalado en un aparato transceptor óptico.

La Figura 2 muestra dos aparatos de seguimiento instalados en sendos aparatos transceptores ópticos con haces enfrentados tal como se sitúan entre dos puntos remotos.

15 La Figura 3 muestra un diagrama funcional de bloques del aparato de seguimiento y del transceptor óptico donde está instalado.

Las Figuras 4A y 4B muestran dos vistas del transceptor óptico que comprende dos drivers, una unidad de control basada en microcontrolador, un aparato de guiado, un aparato duplexor óptico, un aparato transmisor y un aparato receptor.

20 Las Figuras 5A, 5B y 5C muestran el microcontrolador y los drivers de los motores implementados sobre tarjetas de circuito impreso.

## Descripción detallada de la invención

El aparato y procedimiento de seguimiento de haces láser enfrentados basado en control embebido que se presenta, tiene como objeto el establecimiento efectivo y permanente de comunicaciones de alta velocidad realizadas en el espacio libre por los transceptores de una red de comunicación óptica. La **Figura 1** muestra el aparato de seguimiento instalado en un transceptor óptico inteligente 24. La **Figura 2** muestra dos aparatos de seguimiento, instalado cada uno en un transceptor óptico (24,24'), con haces láser enfrentados tal como se sitúan en lugares remotos para el establecimiento de un seguimiento simultáneo de ambos aparatos. El haz láser 2 es enviado por el aparato de seguimiento del transceptor óptico 24' y recibido por el aparato de seguimiento del transceptor óptico 24. El haz láser 2' es enviado por el aparato de seguimiento del transceptor óptico 24 y recibido por el aparato de seguimiento del transceptor óptico 24'. Se establece de esta manera un seguimiento simultáneo de los

dos haces láser 2-2' cuando ambos aparatos ejecutan por separado el procedimiento de seguimiento que aquí se presenta.

En la **Figura 3** se muestra un diagrama funcional de bloques del transceptor óptico 24, que comprende un aparato de guiado 3, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P20101622, que permite el movimiento de precisión angular de elevación y acimut mediante un sistema mecánico y dos motores actuadores, un aparato duplexor óptico 4, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201001619, que permite el tratamiento de haces láser polarizados emitidos 2' y recibidos 2 por un transmisor láser 5 y un receptor 6 basado en fotodiodo de avalancha, respectivamente. Un circuito de control 8, gobernado por un microcontrolador 18, procesa la potencia recibida por el receptor  $P_r(\theta_r, \varphi_r)$  dependiente de la posición angular  $\theta_r, \varphi_r$ , del aparato de guiado 3 sobre el que se sitúa el duplexor óptico 4. El circuito de control 8 actúa a la vez los motores que fijan dicha posición a través de dos circuitos driver de potencia 7,7'. El circuito de control 8 forma así de un lazo de control compuesto por la potencia recibida (sensor) y la acción sobre la posiciones angulares de las que depende (actuación).

Las **Figuras 4A y 4B** muestran dos vistas de la disposición de los elementos que constituyen el transceptor óptico 24 y el aparato de seguimiento 1. El aparato de guiado 3 soporta al aparato duplexor 4 que contiene al aparato transmisor 5. El receptor 6 recibe la señal proporcionada por el aparato duplexor 4 y la envía al circuito de control 8. Éste, tras ejecutar el algoritmo de seguimiento que aquí se presenta, actúa sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado a través de los circuitos driver de potencia 7,7'.

Las **Figuras 5A, 5B y 5C** muestran vistas detalladas de los elementos que componen el circuito de control 8 (Figuras 5A y 5B) y los circuitos driver de los motores 7,7' (Figura 5C); un driver para cada uno de los motores (un motor para la coordenada de elevación  $\theta$ , otro motor para  $\varphi$ ). Los elementos del circuito de control 8 se han implementado en una tarjeta de circuito impreso 9 de característica FR4. El microcontrolador 18 recibe la alimentación por los conectores 13 siendo regulada por un regulador de tensión 17. El diodo luminiscente indica la condición de funcionamiento. Los diodos luminiscentes 11 monitorizan el estado del microcontrolador 18 bajo distintas acciones. El pulsador 14 establece la condición inicial del microcontrolador 18. Los circuitos de tiempo se activan mediante cristal 15. La programación del microcontrolador 18 se establece mediante un conector serie 16. Las vías de conexión 12 permiten comunicar al microcontrolador 18 con los circuitos

driver de los motores 7,7' y mediante el estándar I2C formar parte de una estructura de microcontroladores en condición de maestro-esclavo. El microcontrolador 18 se conjuga con una serie de circuitos de conmutación 19 para realizar adecuadamente las funciones de control. Cada circuito driver (7,7') consta de un driver integrado 20  
5 formado por transistores de potencia que actúan sobre los devanados de los motores paso a paso del aparato de guiado a través del conector 21. La alimentación de potencia para los motores se efectúa a través del conector de alimentación 22 y las comunicaciones con el circuito de control 8 se establecen mediante las vías de conexión 23.

10 Presentamos a continuación el procedimiento de seguimiento detallado ejecutado por el microcontrolador 18. Se enumeran previamente los parámetros y las variables implicadas en el mismo:

$n$  es el número de iteración actual.

15  $h_\theta$  es el incremento respecto a la posición local actual de la coordenada de elevación  $\theta$ . Este parámetro es una constante.

$h_\varphi$  es el incremento respecto a la posición local actual de la coordenada acimutal  $\varphi$ . Este parámetro es una constante.

$h$  es un parámetro constante que permite acelerar la localización del máximo.

20  $\varepsilon$  es el módulo al cuadrado del gradiente estimado que indica cómo de cerca está el sistema del máximo. Es una variable.

$\varepsilon_{min}$  es un parámetro constante que indica la tolerancia en la posición del máximo.

$n_{MAX}$  es un parámetro constante que indica el número máximo de iteraciones que se pueden realizar sin que se active una alarma de seguimiento fallido.

25  $\theta_r^n$  y  $\varphi_r^n$  almacenan respectivamente el ángulo de elevación  $\theta$  y de acimut  $\varphi$  en el paso  $n$  — *ésimo*, respectivamente.

$\delta_\theta^{n+1}$  y  $\delta_\varphi^{n+1}$  almacenan el incremento que, desde la posición actual, hay que realizar en el ángulo de elevación  $\theta$  y en el de acimut  $\varphi$ , respectivamente, para aproximarnos al máximo en la iteración  $n + 1$  — *ésima*.

30 El procedimiento de seguimiento, que se repetirá cada intervalo de tiempo de muestreo  $T_m$  es el siguiente:

0. Inicialización de variables:

$$\varepsilon > \varepsilon_{min}.$$



$n = 1$ .

1. Bucle: iterar los siguientes pasos mientras no se alcance el máximo ( $\varepsilon > \varepsilon_{min}$ ) y no se supere el número máximo de iteraciones ( $n < n_{MAX}$ ):

2. Adquisición del valor local de la potencia recibida en el paso  $n$  – *ésimo*:

- 5                    2.1. Desde la posición actual  $(\theta_r^n, \varphi_r^n)$ , adquirir  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n)$ .  
                       2.2. Posicionar el sistema en  $(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n)$ , adquirir  $P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n)$ .  
                       2.3. Posicionar el sistema en  $(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)$ , adquirir  $P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)$ .  
 10                   2.4. Posicionar el sistema en  $(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi)$ , adquirir  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi)$ .  
                       2.5. Posicionar el sistema en  $(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)$ , adquirir  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)$ .

3. Estimación del vector gradiente mediante diferencias centrales:

- 15                   3.1.  $\nabla_\theta^n = (P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n) - P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)) / (2 \cdot h_\theta)$ .  
                       3.2.  $\nabla_\varphi^n = (P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi) - P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)) / (2 \cdot h_\varphi)$ .  
                       3.3. El vector gradiente estimado es  $\nabla P_r^n = (\nabla_\theta^n, \nabla_\varphi^n)$ .

4. Actualización de la posición en curso:

- 4.1.  $\delta_\theta^{n+1} = h \cdot \nabla_\theta^n$ .  
 20                   4.2.  $\delta_\varphi^{n+1} = h \cdot \nabla_\varphi^n$ .  
                       4.3. Posicionar el sistema en  $(\theta_r^n + \delta_\theta^{n+1}, \varphi_r^n + \delta_\varphi^{n+1})$ .

5. Actualización de:

$$\varepsilon = (\nabla_\theta^n)^2 + (\nabla_\varphi^n)^2.$$

$$n = n + 1.$$

25                   6. Fin de bucle.

7. Evaluación de la condición de salida: Activar condición de seguimiento fallido si  $n > n_{MAX}$ , indicando que no se ha podido realizar correctamente el seguimiento. En caso contrario se alcanzó el máximo.

**REIVINDICACIONES**

1.- Aparato de seguimiento de haces láser enfrentados, polarizados con irradiancia anular y emitidos por dos transceptores ópticos (24,24') que disponen de:

- 5           • un aparato duplexor óptico (4) con un tubo reflector catadióptrico (25) para la recepción del haz láser recibido (2) y la transmisión del haz láser transmitido (2');
- un aparato de guiado (3) del tubo reflector catadióptrico (25), con un motor de elevación y un motor de acimut para modificar, respectivamente, el
- 10           ángulo de elevación  $\theta$  y el ángulo de acimut  $\varphi$  del tubo reflector catadióptrico (25);
- un transmisor láser (5);
- un aparato receptor (6) encargado de obtener la potencia  $P_r$  recibida proveniente del haz láser recibido (2);

15   estando el aparato de seguimiento (1) instalado en cada transceptor óptico (24,24'), **caracterizado por que** dicho aparato de seguimiento (1) comprende un circuito de control (8) encargado de obtener del aparato receptor (6) el valor de la potencia  $P_r$  recibida por el mismo y de aplicar periódicamente un algoritmo de seguimiento, dicho algoritmo de seguimiento comprendiendo:

- 20           • La inicialización de una variable  $\varepsilon$ , que representa el valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente;
- La iteración mientras  $\varepsilon > \varepsilon_{\min}$ , siendo  $\varepsilon_{\min}$  un valor predeterminado, los siguientes pasos:
  - 25           • La adquisición del valor local de la potencia recibida en la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ), que asimismo, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, comprende:
    - adquirir, en la posición actual de la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ), la potencia recibida  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n)$ ;
    - actuar sobre los motores de elevación y acimut del aparato
    - 30           de guiado (3) para posicionar el tubo reflector catadióptrico (25) en las posiciones ( $\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n$ ), ( $\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n$ ), ( $\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi$ ) y ( $\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi$ ) y adquirir para cada una de dichas posiciones la potencia recibida, siendo respectivamente

$P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n), P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n), P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi)$  y  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)$ ; siendo  $h_\theta$  y  $h_\varphi$  unos valores predeterminados;

- 5 La estimación del vector gradiente de potencia  $\nabla P_r^n = (\nabla_\theta^n, \nabla_\varphi^n)$  en la posición actual de la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ) con respecto a la variación del ángulo de elevación  $\theta$  y de acimut  $\varphi$ , realizándose, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, mediante diferencias centrales cumpliéndose:

$$\begin{aligned} \nabla_\theta^n &= (P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n) - P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)) / (2 \cdot h_\theta); \\ \nabla_\varphi^n &= (P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi) - P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)) / (2 \cdot h_\varphi); \end{aligned}$$

10

- La obtención, a partir de dicho vector gradiente de potencia, de las variaciones  $\delta_\theta^{n+1}$  y  $\delta_\varphi^{n+1}$  en el ángulo de elevación  $\theta$  y de acimut  $\varphi$ , respectivamente, que hay que realizar desde la posición actual en la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ) para aproximarse al máximo de potencia en la siguiente iteración  $n+1$ , realizándose, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, según las siguientes ecuaciones:
- 15

$$\begin{aligned} \delta_\theta^{n+1} &= h \cdot \nabla_\theta^n; \\ \delta_\varphi^{n+1} &= h \cdot \nabla_\varphi^n; \end{aligned}$$

siendo  $h$  un valor predeterminado;

- 20 La actuación sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado (3) para posicionar el tubo reflector catadióptrico (25) en la posición ( $\theta_r^n + \delta_\theta^{n+1}, \varphi_r^n + \delta_\varphi^{n+1}$ );
- La actualización del valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente  $\varepsilon$ .
- 25

2.- Aparato de seguimiento según la reivindicación 1, donde las iteraciones del algoritmo de seguimiento se realizan mientras el número de iteraciones  $n$  no supere un número máximo de iteraciones  $n\_MAX$ , estando configurado el circuito de control (8) para, en caso de que el número de iteraciones supere el número máximo de iteraciones  $n\_MAX$ , activar un estado de seguimiento fallido que indique el fallo en el seguimiento del haz láser.

30

3.- Aparato de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

que comprende adicionalmente unos circuitos driver de potencia (7,7') a través de los cuales el circuito de control (8) actúa sobre los motores de elevación y de acimut del aparato de guiado (3).

5            4.- Aparato de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el circuito de control (8) está configurado para aplicar el algoritmo de seguimiento según un período de muestreo  $T_m$ , cumpliéndose  $T_m < 0.5/f_s$ , siendo  $f_s$  la máxima frecuencia esperada en la variación de la posición del máximo de potencia.

10

5.- Aparato de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el circuito de control (8) comprende un microcontrolador (18).

15            6.- Transceptor óptico con capacidad de efectuar el seguimiento de haces láser enfrentados, polarizados con irradiancia anular, que dispone de:

- un aparato duplexor óptico (4) con un tubo reflector catadióptrico (25) para la recepción del haz láser recibido (2) y la transmisión del haz láser transmitido (2');
  - un aparato de guiado (3) del tubo reflector catadióptrico (25), con un motor de elevación y un motor de acimut para modificar, respectivamente, el ángulo de elevación  $\theta$  y el ángulo de acimut  $\varphi$  del tubo reflector catadióptrico (25);
  - un transmisor láser (5);
  - un aparato receptor (6) encargado de obtener la potencia  $P_r$  recibida
- 25            proveniente del haz láser recibido (2);

**caracterizado por que** comprende el aparato de seguimiento de haces láser enfrentados según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

30            7.- Procedimiento de seguimiento de haces láser enfrentados, polarizados con irradiancia anular y emitidos por dos transceptores ópticos (24,24') que disponen de:

- un aparato duplexor óptico (4) con un tubo reflector catadióptrico (25) para la recepción del haz láser recibido (2) y la transmisión del haz láser transmitido (2');
  - un aparato de guiado (3) del tubo reflector catadióptrico (25), con un motor de elevación y un motor de acimut para modificar, respectivamente, el
- 35

ángulo de elevación  $\theta$  y el ángulo de acimut  $\varphi$  del tubo reflector catadióptrico (25);

- un transmisor láser (5);
- un aparato receptor (6) encargado de obtener la potencia  $P_r$  recibida proveniente del haz láser recibido (2);

**caracterizado por que** dicho procedimiento de seguimiento comprende aplicar periódicamente un algoritmo de seguimiento, dicho algoritmo de seguimiento comprendiendo:

- La inicialización de una variable  $\varepsilon$ , que representa el valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente;
- La iteración mientras  $\varepsilon > \varepsilon_{\min}$  ( $\varepsilon > \varepsilon_{\min}$ ), siendo  $\varepsilon_{\min}$  un valor predeterminado, los siguientes pasos:

- La adquisición del valor local de la potencia recibida en la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ), que asimismo, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, comprende:

- adquirir, en la posición actual de la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ), la potencia recibida  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n)$ ;
- actuar sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado (3) para posicionar el tubo reflector catadióptrico (25) en las posiciones ( $\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n$ ), ( $\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n$ ), ( $\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi$ ) y ( $\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi$ ) y adquirir para cada una de dichas posiciones la potencia recibida, siendo respectivamente  $P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n)$ ,  $P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)$ ,  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi)$  y  $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)$ ; siendo  $h_\theta$  y  $h_\varphi$  unos valores predeterminados;

- La estimación del vector gradiente de potencia  $\nabla P_r^n = (\nabla_\theta^n, \nabla_\varphi^n)$  en la posición actual de la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ) con respecto a la variación del ángulo de elevación  $\theta$  y de acimut  $\varphi$ , realizándose, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, mediante diferencias centrales cumpliéndose:

$$\nabla_\theta^n = (P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n) - P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)) / (2 \cdot h_\theta);$$

$$\nabla_\varphi^n = (P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi) - P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)) / (2 \cdot h_\varphi);$$

- 5
- La obtención, a partir de dicho vector gradiente de potencia, de las variaciones  $\delta_{\theta}^{n+1}$ ,  $\delta_{\varphi}^{n+1}$  y  $\delta_r^{n+1}$  en el ángulo de elevación  $\theta$  y de acimut  $\varphi$ , respectivamente, que hay que realizar desde la posición actual en la iteración  $n$  ( $\theta_r^n, \varphi_r^n$ ) para aproximarse al máximo de potencia en la siguiente iteración  $n+1$ , realizándose, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, según las siguientes ecuaciones:

$$\delta_{\theta}^{n+1} = h \cdot \nabla_{\theta}^n;$$

$$\delta_{\varphi}^{n+1} = h \cdot \nabla_{\varphi}^n;$$

10                   siendo  $h$  un valor predeterminado;

- La actuación sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado (3) para posicionar el tubo reflector catadióptrico (25) en la posición ( $\theta_r^n + \delta_{\theta}^{n+1}$ ,  $\varphi_r^n + \delta_{\varphi}^{n+1}$ );
  - La actualización del valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente  $\varepsilon$ .
- 15

8.- Procedimiento de seguimiento según la reivindicación 7, donde las iteraciones del algoritmo de seguimiento se realizan mientras el número de iteraciones  $n$  no supere un número máximo de iteraciones  $n\_MAX$ , y donde el procedimiento comprende, en caso de que el número de iteraciones supere el número máximo de iteraciones  $n\_MAX$ , activar un estado de seguimiento fallido que indique el fallo en el seguimiento del haz láser.

20

9.- Procedimiento de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, donde el algoritmo de seguimiento se aplica según un período de muestreo  $T_m$ , cumpliéndose  $T_m < 0.5/f_s$ , siendo  $f_s$  la máxima frecuencia esperada en la variación de la posición del máximo de potencia.

25

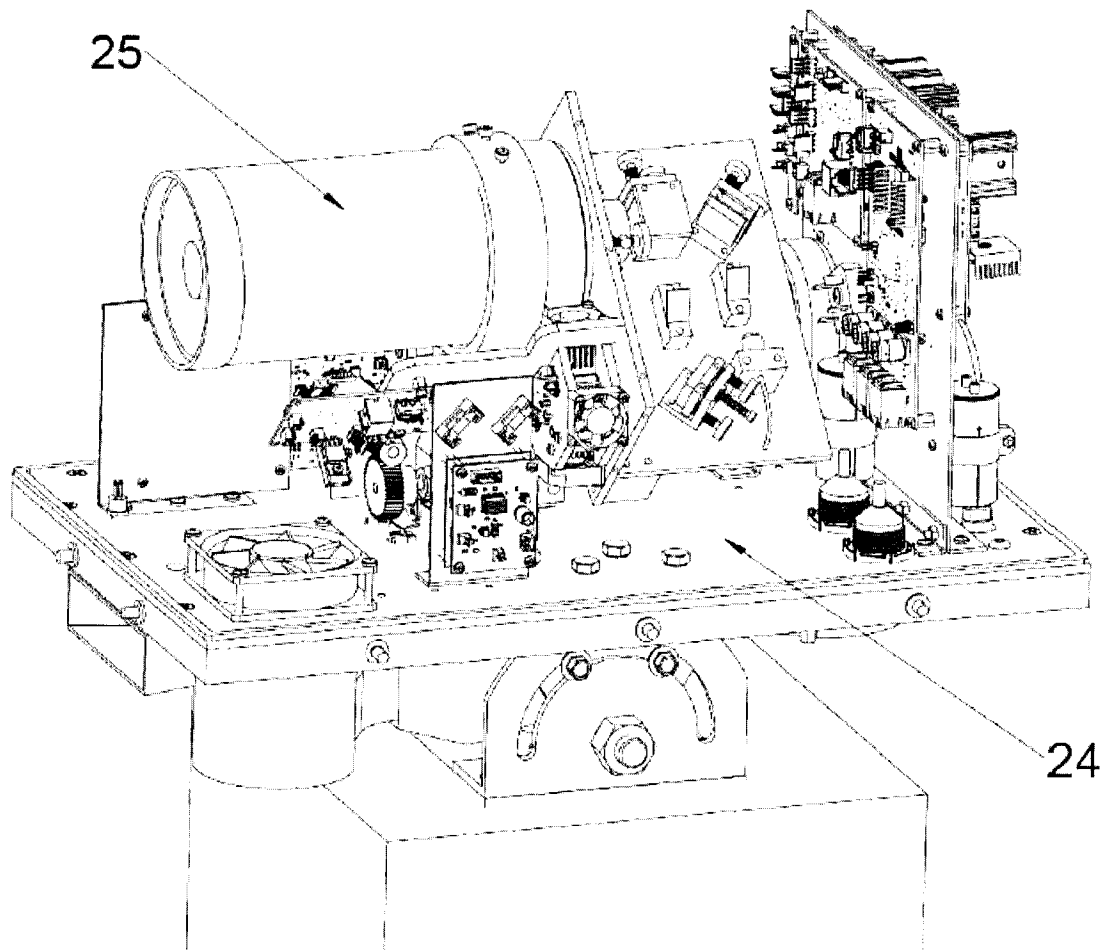


Fig. 1

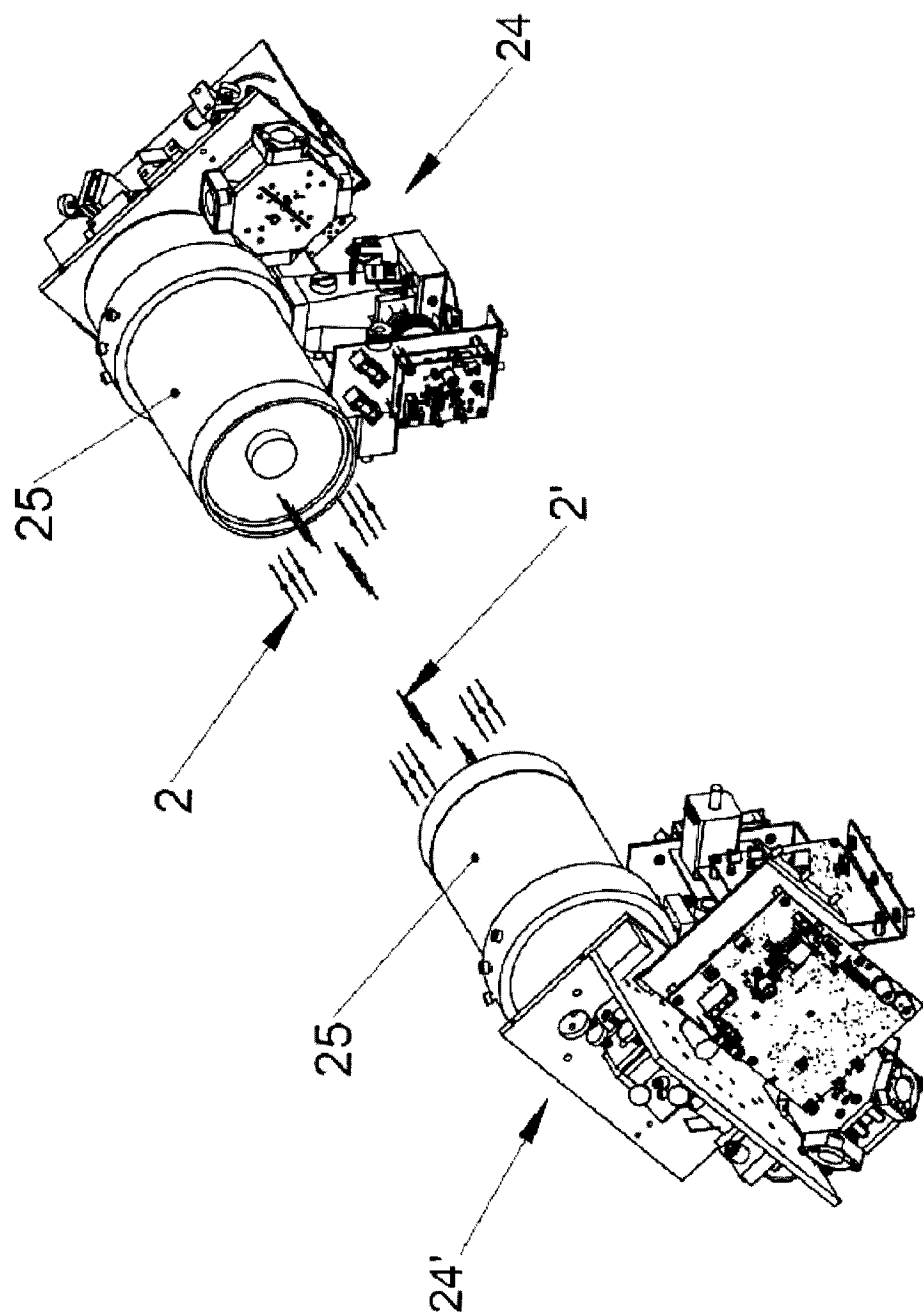


Fig. 2



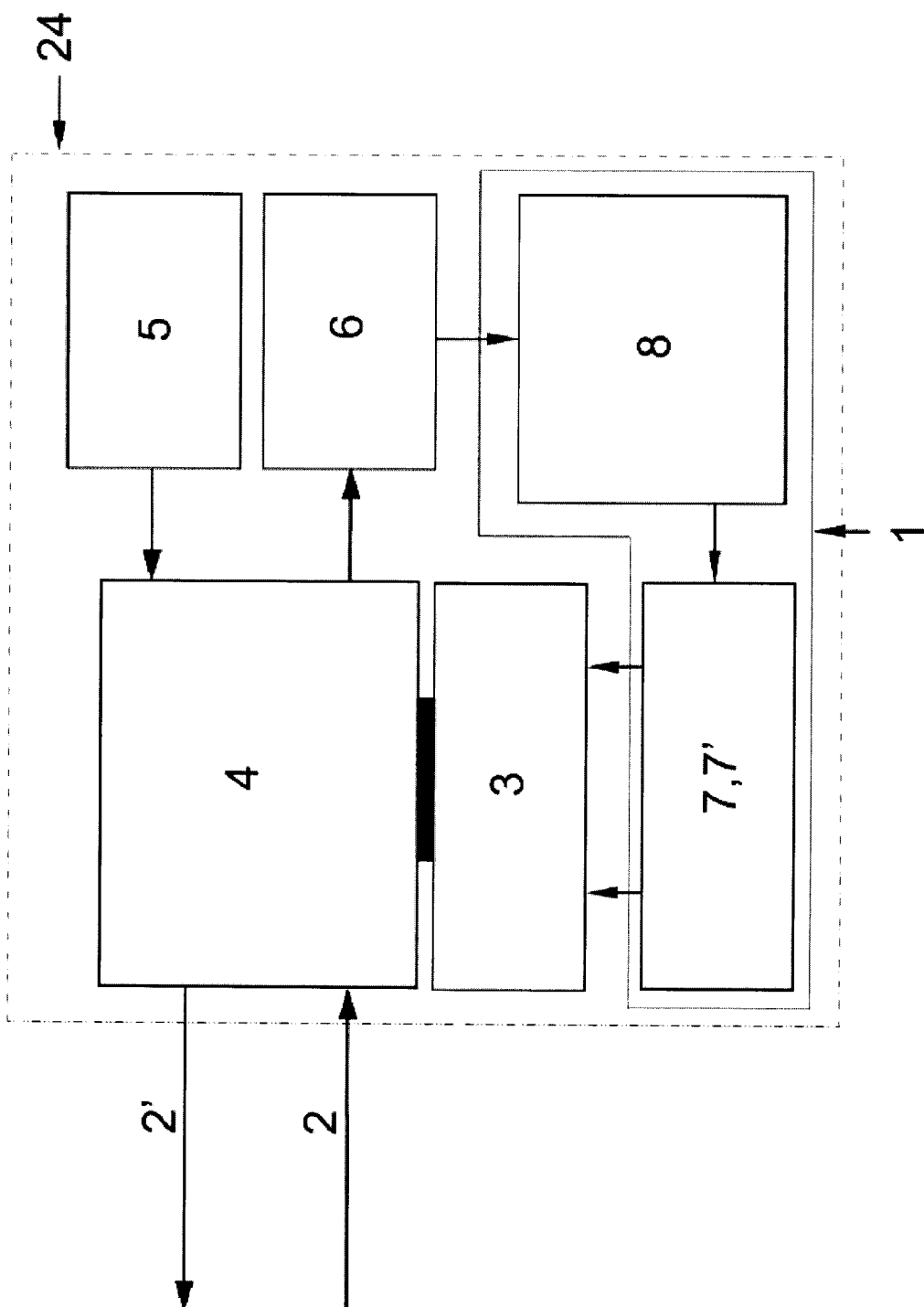


Fig. 3

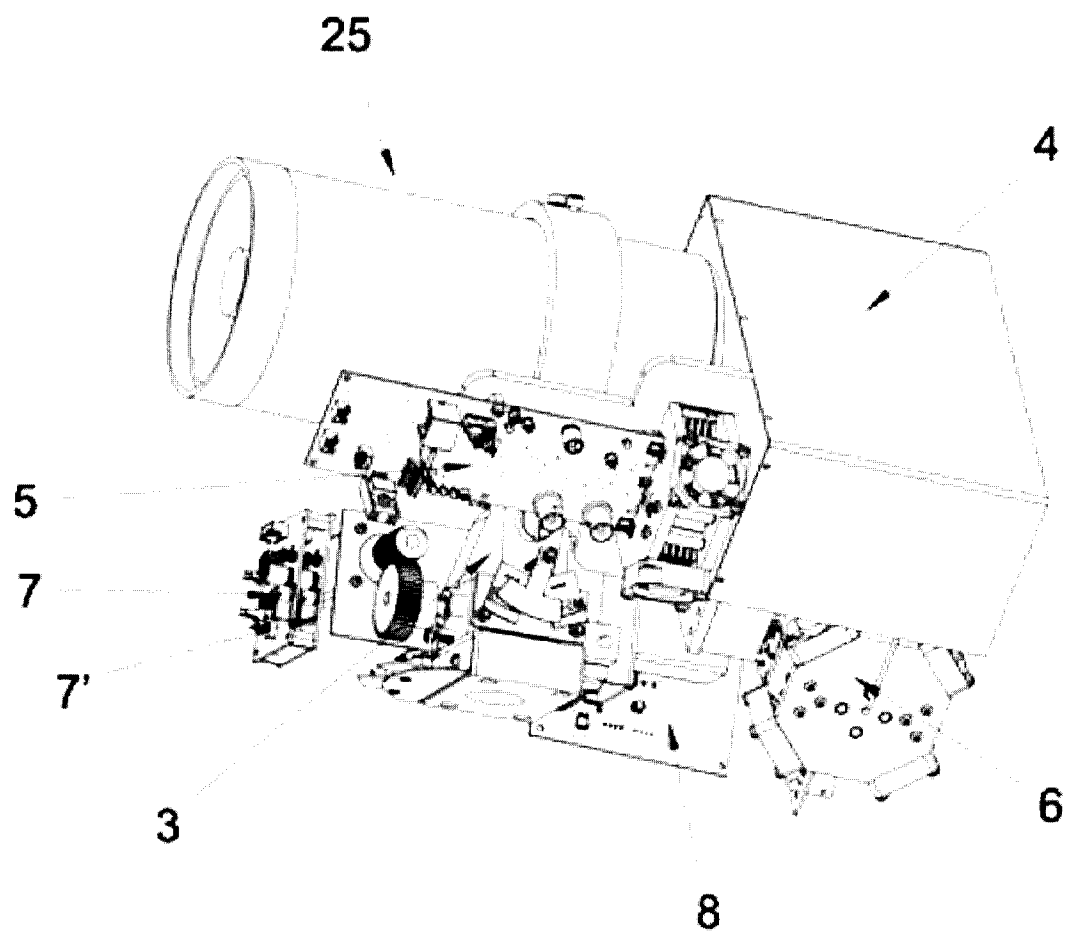


Fig. 4A

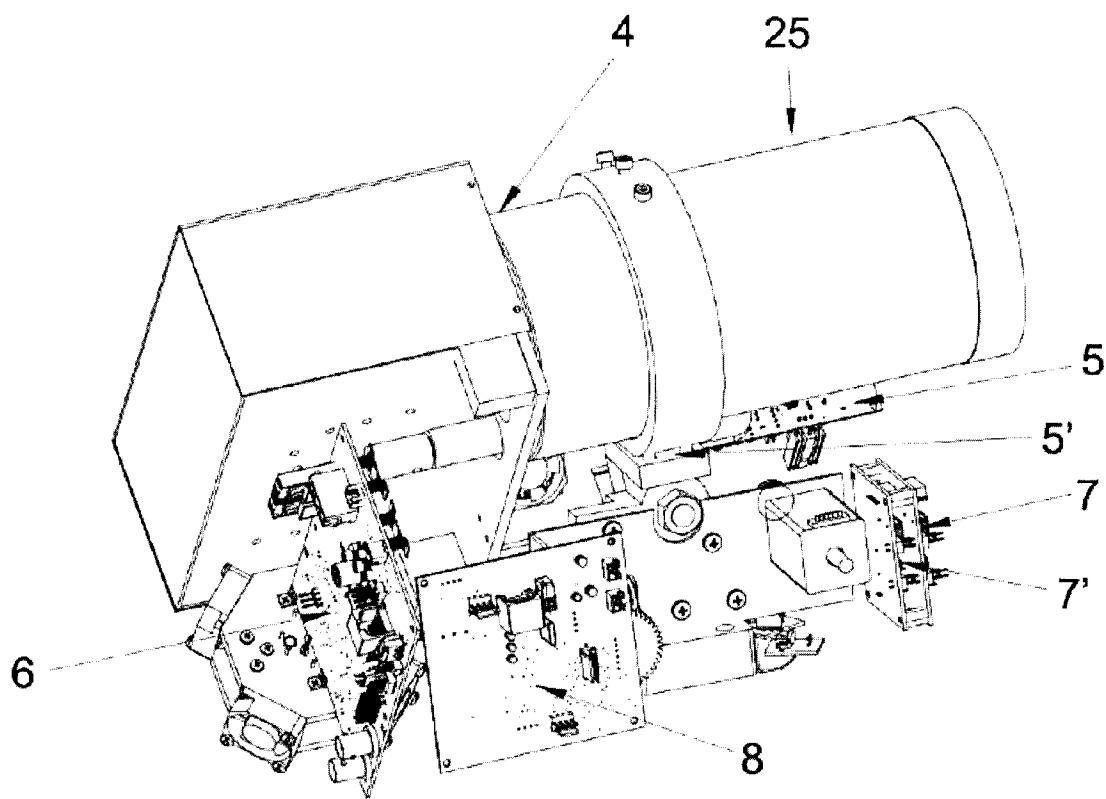


Fig. 4B

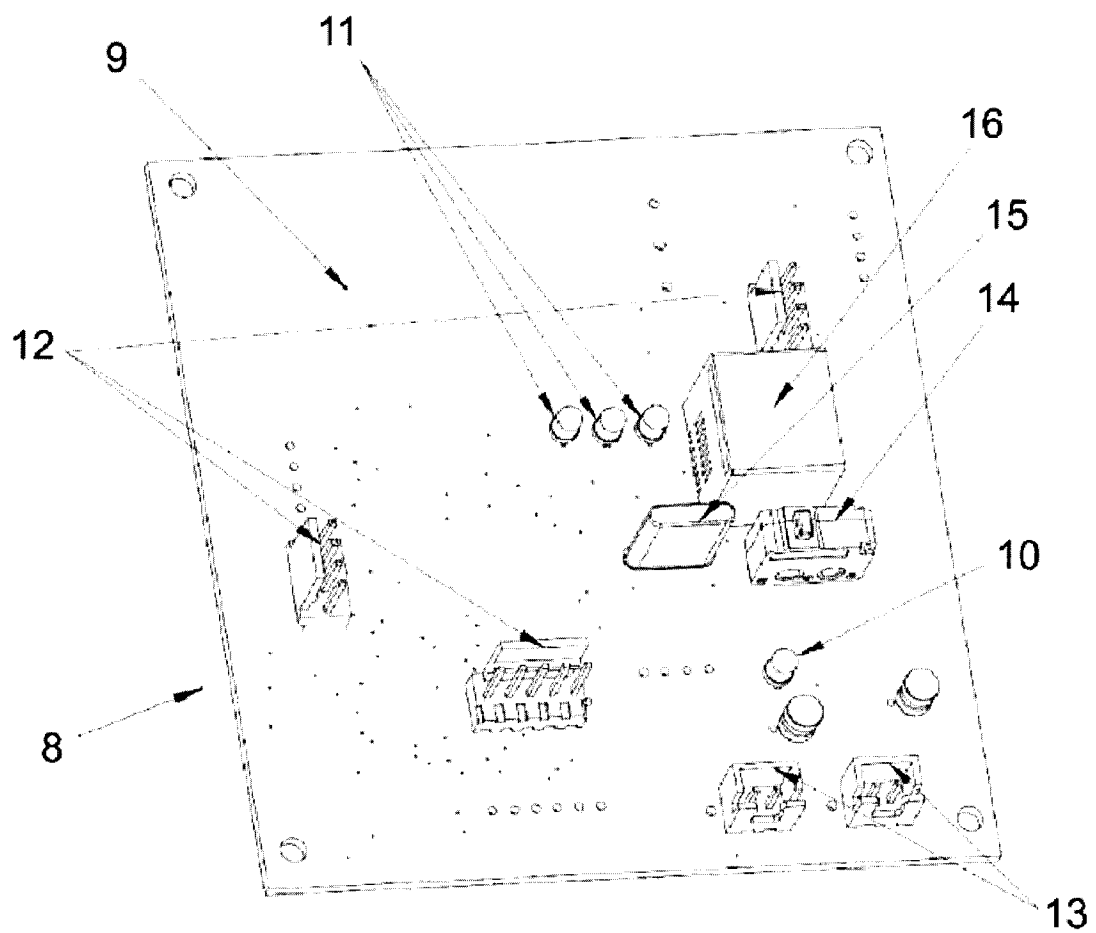


Fig. 5A

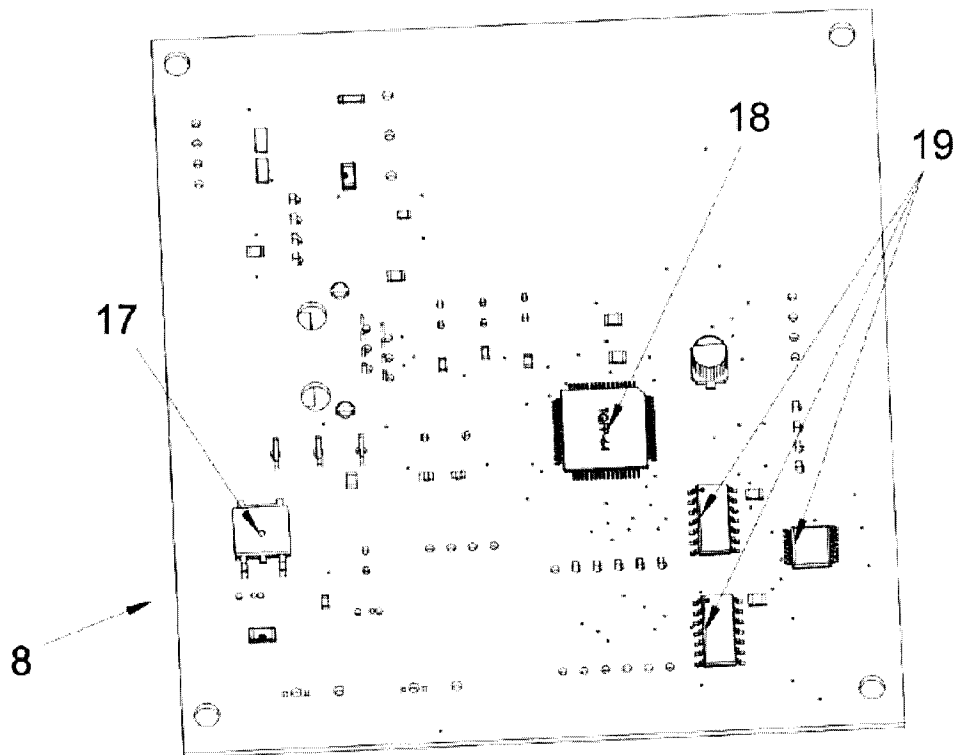


Fig. 5B

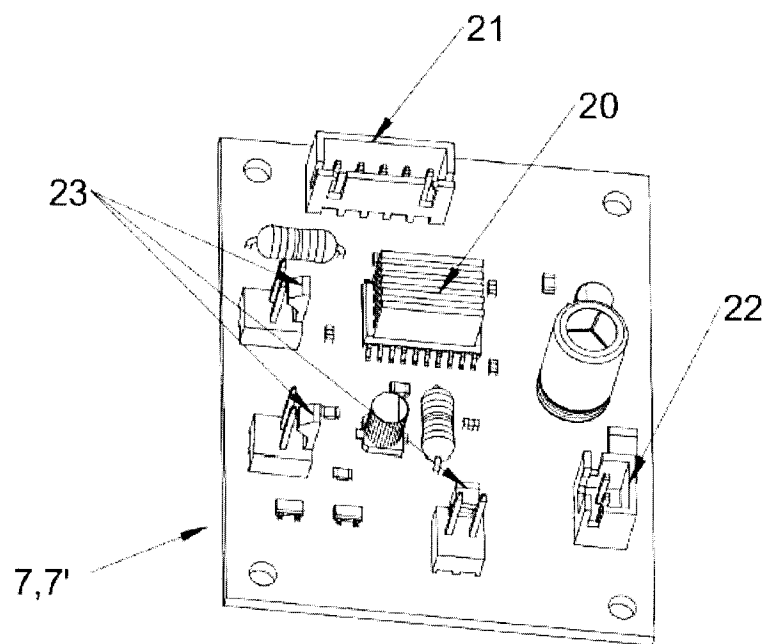


Fig. 5C



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201100111

②② Fecha de presentación de la solicitud: 31.01.2011

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H04B10/22** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | ⑤⑥ Documentos citados                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| X         | US 2006291864 A1 (KIRIBATI WIRELESS VENTURES) 28/12/2006, párrafo [33]; párrafos[39- 43]; párrafos[49 - 50]; párrafo [59]; párrafos[102 - 104]; párrafos[134 - 135]; figura 3, figura 11, reivindicaciones 16-18;                                                                                                 | 1-9                        |
| X         | US 2004120719 A1 (LIGHTPOINTE COMMUNICATIONS) 24/06/2004, párrafos[44 - 45]; párrafos[49- 50]; párrafos[54 - 56]; figuras 9 - 11.                                                                                                                                                                                 | 1-9                        |
| X         | US 2006018663 A1 (OMNILUX INC) 26/01/2006, figuras 16A - 19. párrafos[15 - 22];                                                                                                                                                                                                                                   | 1-9                        |
| A         | JIYONG LI et al. Maximum Power Point ---Tracking--- of Photovoltaic Generation Based on the Optimal ---Gradient--- ---Method---. Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific, 20090327 IEEE, Piscataway, NJ, USA. Páginas: 1 - 4. Isbn: ISBN 978-1-4244-2486-3 ; ISBN 1-4244-2486-0. | 1,2,4,7-9                  |
| A         | WO 2004028045 A1 (INCUCOMM INC ET AL.) 01/04/2004, descripción; figuras.                                                                                                                                                                                                                                          | 1,6,7                      |

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
04.06.2012

Examinador  
E. P. Pina Martínez

Página  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04B, G02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPESP, NPL, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 04.06.2012

**Declaración**

|                                                 |                  |     |           |
|-------------------------------------------------|------------------|-----|-----------|
| <b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>            | Reivindicaciones | 1-9 | <b>SI</b> |
|                                                 | Reivindicaciones |     | <b>NO</b> |
| <b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b> | Reivindicaciones |     | <b>SI</b> |
|                                                 | Reivindicaciones | 1-9 | <b>NO</b> |

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.



**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

| Documento | Número Publicación o Identificación                                                                    | Fecha Publicación |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| D01       | US 2006291864 A1 (KIRIBATI WIRELESS VENTURES)                                                          | 28.12.2006        |
| D02       | JYONG LI et al. Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. IEEE, Piscataway, NJ, USA. | 27.03.2009        |

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la solicitud. Este documento afecta a la actividad inventiva de todas las reivindicaciones, tal y como se explicará a continuación.

Reivindicación 1

En el documento D01 se describe el siguiente dispositivo (las referencias entre paréntesis se corresponden con D01):

Aparato de seguimiento (316, 616) de haces láser (párr. 33) enfrentados, emitidos por dos transceptores ópticos (108) que disponen de:

- un receptor (314) y un transmisor (312);
- un aparato de guiado (316,320), con un motor (párr. 59) de elevación y un motor de acimut para modificar, respectivamente, el ángulo de elevación  $\theta$  (324) y el ángulo de acimut  $\phi$  (322) del transceptor;

El aparato de seguimiento (616) está instalado en cada transceptor óptico (108) y comprende un circuito de control (330) encargado de obtener del aparato receptor (334) el valor de la potencia recibida por el mismo y aplicar iterativamente una secuencia de seguimiento que consiste en (párr. 102-104, 134, reiv.16):

- adquirir el valor local de la potencia recibida en cada paso (fig. 11),
- estimar el cambio de potencia en la posición inicial con respecto a otra posición tras un movimiento del haz
- comparar dicho valor con el máximo de potencia (correspondiente al centrado del haz de laser sobre el receptor);
- actuar iterativamente sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado hasta obtener de nuevo el máximo de potencia (o centrado del haz)

A la vista de lo anterior, todos los elementos técnicos que conforman la estructura del aparato reivindicado se encuentran igualmente descritos en D01. La única diferencia observada radica en el algoritmo que ejecuta el controlador, que en el caso de la solicitud se trata de una aplicación del método del gradiente a la resolución del problema de la maximización de la potencia recibida por cada transceptor respecto a las variables angulares  $\theta$ ,  $\phi$ , que es el mismo problema planteado en D01.

No obstante, se considera que la aplicación de este método numérico a la resolución de este tipo de problemas es una alternativa suficientemente conocida (ver p. ej. el documento D02) y que podría igualmente implementarse en el controlador del aparato descrito en D01. Es decir, la programación del controlador para la ejecución de un algoritmo u otro, conocidos, no supone la realización de un esfuerzo inventivo por parte del experto en la materia, en este caso un experto programador.

Por tanto, se considera que la reivindicación independiente no satisface el requisito de actividad inventiva según lo establecido en el Art. 8.1 de la Ley de Patentes 11/86.

Reivindicaciones 2-8

El resto de reivindicaciones dependientes de la primera no comprenden características técnicas adicionales o alternativas de realización que les confieran el requisito de actividad inventiva frente al estado de la técnica anterior (Art. 8.1 LP).

En particular los controladores de potencia de la reivindicación 3 y el microcontrolador de la reivindicación 5 están igualmente descritos en D01 (422, 428).

Las reivindicaciones 2 y 4 comprenden etapas usuales en la aplicación de métodos de iteración de un algoritmo.

Reivindicación 6

Siguiendo la argumentación anterior, el transceptor óptico de la reivindicación 6 que comprende el aparato de seguimiento de las reivindicaciones 1-5 no satisface el requisito de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

Reivindicaciones 7-9

El documento D01 describe un procedimiento de seguimiento de haces laser enfrentados que consiste en la aplicación iterativa de las siguientes etapas.

- adquirir el valor local de la potencia recibida en cada paso (fig. 11),
- estimar el cambio de potencia en la posición inicial con respecto a otra posición tras un movimiento del haz
- comparar dicho valor con el máximo de potencia (correspondiente al centrado del haz de laser sobre el receptor);
- actuar iterativamente sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado hasta obtener de nuevo el máximo de potencia (o centrado del haz)

La esencialidad del método reivindicado está igualmente descrita en D01. De nuevo la única diferencia encontrada reside en la utilización de un determinado método numérico para la resolución de un mismo problema planteado.

En la medida en que dicho método (método del gradiente) es suficientemente conocido en la resolución de problemas de maximización de variables (ver D02), no se considera que el procedimiento de seguimiento de haces láseres basado en este método satisfaga el requisito de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

En conclusión, a la vista del estado de la técnica anterior, la solicitud no satisface los requisitos de patentabilidad establecidos en el Art. 4.1 LP.