

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 364**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/25** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.11.2012 PCT/RU2012/000909**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2014 WO14074003**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2012 E 12887908 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2918967**

54 Título: **Método para monitorizar dimensiones lineales de objetos tridimensionales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.09.2018**

73 Titular/es:  
**ARTEC EUROPE S.A.R.L. (100.0%)  
8 rue Jean Engling  
1466 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:  
**KLIMOV, ANDREI VLADIMIROVICH;  
LOMAKIN, ALEKSANDR GEORGIEVICH;  
SUKHOVEY, SERGEY VLADIMIROVICH;  
GUSEV, GLEB ALEKSANDROVICH y  
YUKHIN, ARTEM LEONIDOVICH**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 683 364 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**

Método para monitorizar dimensiones lineales de objetos tridimensionales

**Campo de la invención**

5 La invención atañe a instrumentos de medición y se puede usar para mediciones 3D con una precisión adecuada y exponer contornos de objetos tridimensionales al observar un patrón proyectado conocido en diversos ángulos de triangulación.

**Descripción del estado de la técnica**

10 Un método conocido previamente para controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales basado en tres coordenadas consiste en formar una retroiluminación estructurada de sondeo sobre la superficie del objeto controlado proyectando en la superficie del objeto controlado un haz de luz, caracterizado por intensidad espacial modulada, grabar la imagen del patrón de retroiluminación de sondeo distorsionado por la topografía de la superficie del objeto controlado y determinar la altura de la topografía de superficie del objeto controlado con un ordenador electrónico digital que mide la altura topográfica sobre la base del valor de distorsión del patrón de retroiluminación de sondeo, y calcular las otras dos coordenadas sobre la base de la posición de las distorsiones de patrón retroiluminación en la imagen grabada (WO 99/58930).

15 Las desventajas del método conocido son una alta tasa de errores provocados por el hecho de que cuando a la superficie de objeto controlado se dirige radiación óptica modulada a lo largo de una de las coordenadas a través de un filtro de transparencia con una estructura regular no variada, es imposible prever o tener en cuenta por adelantado las distorsiones de imagen provocadas por diferentes propiedades reflectantes de la superficie y rebajes profundos, que no pueden ser identificados sin información anterior acerca de la macroestructura de la superficie de objeto controlado.

20 Las técnicas anteriores incluyen un método para controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales sobre la base de tres coordenadas cartesianas y un dispositivo que las implementa. El método consiste en proyectar un sistema de bandas multicolor creadas por modulación espacial de la intensidad de radiación óptica de sondeo a lo largo de una de las coordenadas.

25 El sistema se caracteriza por bandas alternas y crea una retroiluminación estructurada. Como resultado, la parte entera de la superficie de objeto controlado en el campo de visión del fotodetector y la imagen distorsionada de la retroiluminación estructurada "superpuesta" en la superficie son grabadas en un fotograma. Las dimensiones controladas son evaluadas sobre la base del grado al que se distorsiona la imagen de la banda establecida y en la posición de las bandas en el sistema cartesiano (WO 00/ 70303).

30 La limitación del método usado previamente y de los dispositivos que lo usan es de pobre precisión relacionada con la imposibilidad de interpretación no ambigua de las holguras en la imagen de las bandas distorsionadas por el contorno de la superficie de objeto controlado, o por orificios pasantes, o por un bajo valor de reflectancia espectral dependiendo del color de algún área de la superficie de objeto controlado. Si el objeto controlado es un total de componentes locales, p. ej. un set de álabes de turbina, la reconstrucción de la topología de dicho objeto y el subsiguiente control de sus dimensiones lineales usando el método anterior son imposibles.

35 El método usado previamente para medición óptica de la forma de superficie implica colocar la superficie en el campo de iluminación del sistema de proyección óptico y simultáneamente en el campo de visión del dispositivo para grabar imágenes de la superficie anterior, que proyecta un set de imágenes con una estructura conocida del flujo de luz a la superficie medida usando el sistema óptico de proyección anterior, grabar el set de las imágenes correspondientes de la superficie observada en un ángulo diferente del ángulo de proyección de set de imágenes, y determinar la forma de la superficie medida sobre la base de las imágenes grabadas. En este caso, se proyectan al menos tres distribuciones periódicas de la intensidad de luz alternadamente a la superficie mencionada anteriormente, estas distribuciones son un set de bandas cuya intensidad varía transversalmente siguiendo el principio sinusoidal y que difieren en el cambio de este set de bandas en la dirección perpendicular a las bandas en un valor controlado dentro de una banda, y las imágenes grabadas son procesadas para recibir una distribución preliminar de fases que contiene las fases correspondientes a puntos sobre la superficie. Además, una distribución complementaria de la intensidad de luz es proyectada momentáneamente sobre la superficie anterior, haciendo posible determinar el número de la banda desde el anterior set de bandas para cada punto de la superficie anterior, se graba una imagen adicional de la superficie anterior; se obtiene la distribución de fases resultante para cada punto visible de la superficie anterior, sobre la base de la imagen anterior del objeto, iluminado por la distribución preliminar de fases, y la imagen anterior del objeto iluminado por la distribución complementaria de fases. Y sobre la base de la distribución resultante de fases anterior, se obtienen coordenadas absolutas de los puntos de superficie anterior usando los datos de calibración preliminares. Cuando se realizan mediciones usando los métodos anteriores, se asume que se graba una imagen de cada punto de la superficie bajo las condiciones cuando está iluminada únicamente con un haz directo emitido por la unidad de proyección, y la iluminación de esta imagen de punto de objeto grabada se considera proporcional al brillo del haz enfocado en este punto directamente desde la unidad de proyección (RU n.º 2148793).

Las limitaciones de esto método consisten en la complejidad del dispositivo que lo usa y la duración de proceso que requiere considerable tiempo para las mediciones y que deja lugar a errores en caso de oscilaciones mecánicas de las posiciones de equipos (unidad de proyección y cámara).

5 Las técnicas anteriores incluyen un método y un dispositivo para control remoto y reconocimiento de superficies de objeto tridimensional usando el método de retroiluminación estructurada que implica una fuente de radiación óptica y - instalado en secuencia siguiendo el curso de radiación - un filtro de transparencia que permite la posibilidad de formar una estructura de línea no periódica de las bandas, un sistema óptico afocal para proyectar la imagen de filtro de transparencia sobre la superficie controlada, una lente de recepción que forma la imagen de la ilustración de estructura de línea que aparece en la superficie de objeto controlado distorsionada por el contorno de la superficie de objeto controlado, una fotograbadora que digitaliza la imagen formada por la lente de recepción, y una unidad electrónica digital informática que convierte las imágenes digitales grabadas por la fotograbadora para coordinar valores en la superficie controlada; el dispositivo se provee de N-1 fuentes de radiación adicionales, cada una de ellas diferente de las otras en el intervalo espectral de radiación, N-1 filtros de transparencia, cada uno de ellos diferente en al menos una banda de los otros, N-1 lentes instaladas después de los filtros de transparencia, N-1 espejos instalados en un ángulo de 45 grados con el eje óptico de cada una de las N-1 lentes antes del segundo componente del sistema óptico afocal, segundos N-1 espejos instalados por detrás de la lente de recepción en un ángulo de 45 grados con el eje óptico de lente de recepción, N-1 lentes de recepción secundarias, cada una de ellas instaladas por detrás de cada uno de los segundos N-1 espejos y, conjuntamente con la lente de recepción, formar la imagen de las ilustraciones de la estructura de línea que aparece en la superficie de objeto controlado distorsionada por el contorno de la superficie de objeto controlado, N-1 fotograbadoras, cada una de ellas tiene un intervalo de sensibilidad espectral que coincide con el intervalo de radiación espectral de una de las N-1 fuentes de radiación, N-1 unidades digitales electrónicas informática; la unidad electrónica de adición de imagen se implementa con el número de entradas igual al número de las unidades digitales electrónicas informáticas, con cada una de la entrada de unidad electrónica de adición de imagen conectada a la salida de cada unidad digital electrónica informática, y el número N se determina según la fórmula  $N = \text{Log}_2(L)$ , donde L es el número de parejas de las celdas de resolución de muestra de fotograbadora (RU n.º 2199718).

Las limitaciones de este método también consisten en la complejidad del dispositivo que lo usa y la duración de proceso que requiere considerable tiempo para las mediciones y que deja lugar a errores en caso de oscilaciones mecánicas de las posiciones de equipos (unidad de proyección y cámara).

30 Las técnicas anteriores incluyen un método para controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales sobre la base de tres coordenadas cartesianas y un dispositivo que las usa, en el que dos cámaras se ubican en la derecha y en la izquierda de la unidad de proyección, formando así una pareja estereoscópica parecida a la visión humana.

La unidad de proyección proyecta una imagen de bandas sobre el objeto. Se reciben imágenes desde ambas cámaras derecha e izquierda, y entonces se comparan las dos imágenes usando métodos de correlación, es decir, cada banda de la imagen derecha se empareja con una banda similar en la imagen izquierda buscando a través de todas las bandas en la imagen izquierda (US 6377700, prototipo).

La limitación de este método es el largo tiempo necesario para buscar a través de todas las posibles parejas de bandas y el largo tiempo de ejecución del algoritmo de correlación.

### Descripción de la invención

40 El objeto de esta invención es por lo tanto crear un método eficaz y eficiente para controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales, así como expandir la variedad de métodos para controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales.

El resultado técnico que asegura que se logra el objeto consiste en simplificación y completa automatización del proceso de controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales, reducción de la duración de proceso de medición y eliminación casi completa de errores en caso de oscilaciones mecánicas que surgen en posiciones de los equipos (unidad de proyección y cámaras) en relación al objeto de medición, ya que la unidad de proyección y las cámaras se ejecutan como herramienta portátil en un único alojamiento.

El alcance de la invención es que el método de llevar a cabo mediciones 3D de un objeto usando retroiluminación estructurada asume que la unidad de proyección se usa para proyectar sobre el objeto controlado una imagen conocida que tiene al menos dos líneas que no se cruzan a lo largo de uno de los ejes longitudinales, entonces la luz proyectada reflejada desde el objeto es grabada usando al menos dos cámaras ubicadas a distancias diferentes desde la unidad de proyección con formación de ángulos de triangulación diferentes entre el haz proyectado central y los haces centrales de las cámaras, y cada línea proyectada por la unidad de proyección y formada por la luz reflejada recibida por cada cámara se identifica al comparar las coordenadas de las líneas recibidas por las cámaras, con el ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la primera cámara ubicada a una distancia mínima de la unidad de proyección establecida igual al arcotangente de la ratio de la distancia entre las bandas proyectadas y la profundidad focal de esta lente de cámara, las coordenadas longitudinales de los centros de línea y las coordenadas verticales se determinan en la imagen de la primera cámara como el cociente de la coordenada

longitudinal por la tangente del ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la primera cámara, y para ajustar la coordenada vertical se usa su valor obtenido usando la segunda cámara ubicada en un ángulo de triangulación mayor que la primera cámara, por lo que la ubicación de las mismas líneas se identifica en la segunda imagen de cámara como la más cercana a las coordenadas longitudinales calculada como el producto de la coordenada vertical anterior determinada usando la primera cámara y la tangente del ángulo de triangulación de segunda cámara, y entonces para estas líneas se determinan los valores ajustados de las coordenadas longitudinales y verticales.

El método preferible para determinar las coordenadas longitudinales de los centros de línea en la primera imagen de cámara es tomar los píxeles más brillantes en su anchura. Se asume la distancia entre la cámara y la unidad de proyección como el producto de la distancia desde la unidad de proyección al punto de intersección de los haces centrales de la unidad de proyección y la cámara y la tangente del ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la cámara. El valor de coordenada vertical obtenido usando las cámaras tercera, cuarta y subsiguientes se usa para ajuste adicional de la coordenada vertical.

En ciertos dispositivos que usan el método, se ubican cámaras en uno o en ambos lados de la unidad de proyección. Las coordenadas preferiblemente se miden y determinan usando un procesador informático, y se saca una imagen 3D a la pantalla de ordenador.

### Figuras de dibujos

La figura 1 muestra la disposición de la unidad de proyección y la cámara cuando se proyecta un haz, la figura 2 muestra el diagrama de una línea proyectada sobre un objeto tridimensional, la figura 3 muestra el diagrama de dos líneas proyectadas sobre un objeto tridimensional, la figura 4 muestra la disposición de la unidad de proyección y la cámara cuando se proyectan dos haces, la figura 5 muestra las posibles imágenes de banda proyectadas por la unidad de proyección y recibidas por las cámaras (5a - imagen de las bandas en la unidad de proyección, 5c - contorno de la imagen de bandas en la unidad de proyección, 5b - imagen de las bandas en la cámara, 5d - contorno de la imagen de bandas en la cámara), la figura 6 - líneas correspondientes a las bandas emitidas desde la unidad de proyección como líneas rectas paralelas, la figura 7 - líneas adicionales correspondientes a las bandas emitidas desde la unidad de proyección, la figura 8 - líneas correspondientes a bandas proyectadas a dos cámaras, la figura 9 muestra el diagrama de sistema (unidad) de proyección, la figura 10 - un dispositivo alternativo con cámaras ubicadas en ambos lados de la unidad de proyección y la correspondiente superposición de los campos de visión de las cámaras, la figura 11 - una disposición alternativa con tres cámaras en un lado de la unidad de proyección y la correspondiente superposición de los campos de visión de las cámaras.

### Realización preferible de la invención

La figura 1 muestra un dispositivo que comprende una unidad de proyección 1 que proyecta la imagen predeterminada sobre el objeto y la cámara 2 que graba y transmite al ordenador (no se muestra) la luz emitida por unidad de proyección 1 y reflejada desde el objeto, en un cierto ángulo de triangulación  $\alpha$  (ángulo entre el haz central de la unidad de proyección 3 y el haz central 4 de la cámara 1).

La distancia L entre la cámara y la unidad de proyección se llama la base. La base se puede elegir de la siguiente manera.

$L = s \cdot \text{tg } \alpha$ , donde s es la distancia desde la unidad de proyección al punto de intersección de los haces centrales de la unidad de proyección y la cámara (m).

En el caso más simple, la unidad de proyección 1 proyecta una banda horizontal 3 que coincide con el haz central de la unidad de proyección en la figura 1. La figura 2 es una vista desde la cámara 2. La figura 2 muestra la manera que se distorsiona la banda 3 debido a la curvatura del objeto mostrado como planos 5 y 6, y en la imagen de la cámara 2 se ve un trazo 7 de la banda reflejada 3. La figura 1 muestra una vista lateral de la misma configuración que en la figura 2, y la banda 3 cruza el plano 5 y el plano 6 a distancias diferentes Z1 y Z2 de la cámara y puntos de intersección 8 y 9 tienen coordenadas diferentes Y1 e Y2. En un caso general, de esto se obtiene el ratio  $Z = y/\text{tg } \alpha$  para obtener la coordenada Z usando la coordenada Y. Entonces usualmente se usa esta banda para escanear la superficie a lo largo del eje Y en la figura 2 para obtener mediciones 3D del objeto en el campo de visión de la cámara con el mayor grado de detalle posible.

Si la cámara 2 ve únicamente una banda proyectada por la unidad de proyección 1 por fotograma, para obtener dichas mediciones esta banda tendría que ser desplazada la distancia más pequeña posible y tendrían que recibirse tantas imágenes como fuera posible desde la cámara 2. Esto requiere invariablemente un montón de tiempo. La cámara común permisible 2 tiene una tasa de fotogramas de 25 fps y una resolución de 1 MP, es decir, 1.000 píxeles a lo largo del eje de coordenada Y y 1.000 píxeles a lo largo del eje de coordenada X. Se tienen 1.000 píxeles en la banda a lo largo del eje de coordenada X, es decir, 1.000 mediciones. Para obtener el mismo número de mediciones a lo largo de ambos ejes, se tiene que proyectar la banda 1.000 veces desplazándola un píxel a lo largo del eje de coordenada Y, recibir 1.000 fotogramas desde la cámara 2 para este propósito, lo que lleva 40 segundos. Si se debe disminuir el número de imágenes y obtener más mediciones de una imagen de la cámara 2, según el método, se deben proyectar

dos bandas, como en la figura 3, o más, en lugar de únicamente una banda, pero surgen ambigüedades en la identificación de bandas. En la figura 3 la banda 7 está combinada con la banda 11 en el punto 12 para una cámara (2). Esta ambigüedad da como resultado un error al determinar la coordenada Z. Una coordenada Y puede corresponder a dos coordenadas Z1 y Z2 en la imagen de cámara. En la figura 4 desde la unidad de proyección 1 se emiten dos haces que representan las bandas. Los puntos 13 y 14 en la figura 4 son puntos de ambigüedad.

La ambigüedad debe ser resuelta cuando se proyectan varias bandas. Para este propósito se introducen los siguientes términos y algoritmos: T - intervalo entre las bandas, Tz - el volumen medido usualmente definido por la profundidad focal de las lentes usadas en la unidad de proyección y la cámara 2. La profundidad focal Tz es la distancia a lo largo del eje Z dentro de la que se puede observar una imagen suficientemente contrastada de las bandas proyectadas, es decir, se puede ver dónde empieza y finaliza la banda. La profundidad focal Tz puede ser el valor de referencia de la lente de cámara.

La profundidad focal Tz de la lente de cámara para cada caso específico puede ser determinada, por ejemplo, de la siguiente manera:  $Tz = 2DC/(f/s)^2$

donde: D es la apertura de lente de cámara ( $m^2$ ), C es el tamaño de píxel de cámara ( $\mu m$ ), f es la distancia focal de lente de cámara (m), s es la distancia desde la unidad de proyección al punto de intersección de los haces centrales de la unidad de proyección y la cámara (m).

En la imagen de la cámara 2 una banda proyectada usualmente tiene la anchura de (ocupa) varios píxeles de la distribución CCD de la cámara 2, debido al hecho de que las bandas pueden ser desenfocadas por la lente o que el objeto puede disipar luz por reflexión, las bandas no tienen coordenada Y definida claramente.

El algoritmo de determinación de subpíxel se usa para determinar la coordenada Y. El algoritmo de determinación de subpíxel consiste en lo siguiente:

La unidad de proyección 1 proyecta la imagen de bandas paralelas en la figura 5 con el mínimo y máximo nivel de brillo 15. En la cámara 2, se observan bandas 17 con brillo variable de píxeles ligeramente emborronados debido al desenfoco de las lentes, ruido de píxel de cámara 2 y otras distorsiones. Se puede asumir el píxel más brillante como el centro de línea o hacer una aproximación (por software) de los valores de píxel, usando, por ejemplo, una curva parabólica o sinusoidal 18, para determinar la coordenada Y del centro de línea en la imagen de la cámara 2 a fracciones de un píxel.

Opciones disponibles para resolver ambigüedades cuando se proyectan simultáneamente varias líneas:

Se puede hacer una conclusión basada en la figura 3 y la figura 4 de que el área a lo largo de la coordenada Z entre los puntos 13 y 14 es un área donde se mantiene ausencia de ambigüedad en la definición de la banda proyectada en imagen de la cámara 2. Por consiguiente, se debe intentar hacer el área de medición Tz menor o igual a esta distancia.

La figura 6 y la figura 7 muestran líneas correspondientes a bandas emitidas desde la unidad de proyección 1 como líneas rectas paralelas al haz central 3 de la unidad de proyección 1.

A partir de estos dibujos se puede entender que existe la relación  $\tan \alpha = T/Tz$  entre ángulo  $\alpha$ , intervalo T y área de medición Tz, así como que existe la relación  $\tan \alpha = \Delta Y/Z$  entre  $\Delta Y$  y ángulo  $\alpha$ .

Es obvio que cuanto mayor es el ángulo  $\alpha$ , más grande es el cambio de la banda  $\Delta Y$  observado en la imagen de la cámara 2, con la banda proyectada como línea 19 en la imagen de cámara, lo que permite determinar con mayor precisión la coordenada Z, es decir, nuestro sistema tiene mayor sensibilidad a mediciones a lo largo del eje Z. Además, cuanto mayor es el ángulo, menor es el dominio de determinación Tz. Esto es obvio si se compara el valor Tz en la figura 6 con el valor Tz en la figura 7.

Con el valor mínimo del ángulo de triangulación la cámara percibe claramente la línea proyectada y la coordenada longitudinal Y, pero la precisión de percepción de la coordenada vertical Z está en su mínimo. Con el valor más grande del ángulo de triangulación de banda las bandas en la imagen empiezan a combinarse, y es difícil determinar la coordenada longitudinal Y, pero la precisión de percepción de la coordenada vertical Z está en su máximo. Esto estipula el uso de al menos dos cámaras instaladas en ángulos de triangulación diferentes.

El dispositivo en la figura 9 comprende el sistema de proyección (unidad) 1 que consiste en una fuente de luz - lámpara 29, lente de condensador 30, corredera 31 que contiene un dibujo de bandas paralelas horizontales, y lente 32. El dispositivo también incluye tres cámaras 22, 23, 33. Para asegurar que las cámaras están tan cerca de la unidad de proyección 1 como sea posible, la primera cámara 22 tiene que ser colocada demasiado cerca de la unidad de proyección y las dimensiones de cámara pueden superar las dimensiones de la base (distancia base) L que corresponde al ángulo elegido  $\alpha$ .

Para resolver este problema, se sugiere usar un espejo semitransparente 34 o un prisma en el camino de los haces de la cámara 22 y el sistema de proyección, que hace posible espaciar aún más la cámara y la unidad de proyección.

Segunda solución para colocar cámaras tan cerca de la unidad de proyección como sea posible:

Colocar las cámaras 22 y 23 en la derecha y la izquierda de la unidad de proyección 1. La figura 10 muestra distancias de base L1 y L2 ubicadas en un lado de la unidad de proyección que corresponde a los ángulos de triangulación. En este caso la superposición resultante de los campos de visión de las cámaras 35 será incompleta, lo que reducirá el área de medición del objeto, pero esta solución es técnicamente más simple de implementar que la que requiere instalación y ajuste de un espejo o prisma semitransparente.

El tercer método se muestra en la figura 11. Las cámaras se ubican en un lado de la unidad de proyección 1. Esto hace posible lograr mayor superposición de los campos de visión de las cámaras 35.

Generalmente, el método para medición 3D de un objeto con retroiluminación estructurada se implementa de la siguiente manera. Usando la unidad de proyección 1, sobre el objeto controlado se proyecta una imagen predeterminada con al menos dos líneas que no se cruzan a lo largo de uno de sus ejes longitudinales. La luz de la unidad de proyección 1 reflejada desde el objeto se graba con al menos dos cámaras ubicadas a distancias diferentes desde la unidad de proyección formando así ángulos de triangulación diferentes entre el haz central de la unidad de proyección y los haces centrales de las cámaras. En la imagen de la primera cámara 2 se determinan las coordenadas longitudinales de los centros de línea como los píxeles más brillantes.

Entonces se identifica cada línea proyectada por la unidad de proyección 1 y formada por la luz reflejada recibida por cada cámara comparando las coordenadas de las líneas percibidas por las cámaras. Para este propósito el ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección 1 y el haz central de la primera cámara 22, colocado a una distancia mínima de la unidad de proyección 1 y un ángulo mínimo  $\alpha_1$ , se escoge y establece igual al arcotangente de la ratio de la distancia entre las bandas proyectadas y la profundidad focal Tz de esta lente de cámara.

Tales condiciones impuestas en la posición relativa de la unidad de proyección 1 y la cámara 22 permiten la máxima ausencia de ambigüedad a la hora de identificar cada banda proyectada. El intervalo T en la figura 8 entre las bandas proyectadas 20 y 21 y el ángulo  $\alpha_1$  entre la primera cámara 22 y la unidad de proyección 1 se eligen sobre la base de la ratio de  $\alpha_1 = \arctang(T/Tz)$ . Esto hace posible diferenciar entre todas las bandas proyectadas en la imagen de la primera cámara. Las proyecciones de banda sobre la imagen desde la cámara 22 se representan como 24 y 25.

Las coordenadas longitudinales de los centros de línea y las coordenadas verticales se determinan en la imagen de la primera cámara como el cociente de la coordenada longitudinal Y1 por la tangente del ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la primera cámara.

Usando el algoritmo de búsqueda de centro de línea - el algoritmo de determinación de subpíxel - y sobre la base de la relación  $Z=Y1/tg\alpha_1$  (Y1 - coordenadas en la imagen de la primera cámara), las coordenadas Z de todas las bandas proyectadas se calcula con un cierto error  $\sigma$ , que principalmente depende del ángulo de triangulación  $\alpha_1$ , del número de píxeles en la distribución CCD de la cámara, y el ruido de píxel de la cámara seleccionada.

El error de anchura de imagen de línea  $\sigma$  (empezando con la segunda cámara) no superará  $T/ \text{Cos } \alpha_2$ .

Para ajustar la coordenada vertical Z, se usa su valor obtenido con la segunda cámara ubicada en un ángulo de triangulación mayor  $\alpha_2$  que el de la primera cámara, por lo que la posición de las mismas líneas se identifica en la segunda imagen de cámara como las líneas más cercanas a las coordenadas longitudinales calculadas como el producto de la coordenada vertical Z anterior determinado usando la primera cámara y la tangente del ángulo de triangulación de la segunda cámara. Así, para ajustar la coordenada Z de las bandas proyectadas, se usa la segunda cámara 23 ubicada en un ángulo de triangulación mayor  $\alpha_2$  que la unidad de proyección  $\alpha_2 > \alpha_1$ . Las bandas 20 y 21 proyectadas por la unidad de proyección 1 sobre la imagen desde la segunda cámara 23 se ve como 26 y 27. Por claridad, las bandas 26 y 27 se representan con un ligero cambio, mientras que de hecho se combinan en la imagen de la segunda cámara y son difíciles de identificar. Pero si la coordenada Z obtenida antes según la fórmula  $Z=Y1/tg\alpha_1$  para la banda 20 es proyectada según la fórmula  $Y2=Z*tg\alpha_2$  sobre la imagen desde la cámara 23, la curva de ruido 28 se vuelve visible, lo que ayudará a identificar la posición de la banda 20 sobre la imagen de la cámara 23. Para cada banda se debe seguir el mismo procedimiento para diferenciarla de las otras. El centro de cada línea tiene que ser determinado nuevamente con ajuste basado en la imagen desde la cámara 23, así como calcular una nueva coordenada Z más precisa. El ángulo  $\alpha_2$  se escoge de modo que no se supere  $T/\text{Cos } \alpha_2$ .

Entonces, de manera similar al procedimiento descrito para determinar coordenadas usando la primera cámara, la segunda cámara se usa para determinar los valores ajustados de las coordenadas longitudinales y verticales para estas líneas.

El valor de coordenada vertical obtenido usando las cámaras tercera, cuarta y subsiguientes se usa para ajuste adicional de la coordenada vertical. Para ajuste adicional de las coordenadas Z de las bandas proyectadas se pueden usar cámaras adicionales con ángulos de triangulación grandes para lograr la precisión requerida de la definición de coordenada Z de la banda. Cada subsiguiente cámara con un ángulo de triangulación grande debe cumplir las condiciones proporcionadas anteriormente para cámaras con un ángulo de triangulación pequeño. En algunos casos, se ubican al menos dos cámaras en diferentes lados de la unidad de proyección, pero las imágenes y ángulos de triangulación de todas las cámaras tienen que ser ubicados en un lado del haz central de la unidad de proyección, que

se puede asegurar usando un espejo semitransparente posicionado cruzando los haces centrales de la unidad de proyección y, preferiblemente, de la primera cámara en la figura 9.

Las coordenadas se miden y determinan usando un procesador informático, y se saca una imagen 3D a la pantalla de ordenador.

- 5 El resultado técnico consiste en simplificación y completa automatización del proceso de controlar dimensiones lineales de objetos tridimensionales, reducción de la duración de proceso de medición y eliminación casi completa de errores en caso de oscilaciones mecánicas que surgen en posiciones de los equipos (unidad de proyección y cámaras) en relación al objeto de medición, ya que la unidad de proyección y cámaras se ejecutan como herramienta portátil en un único alojamiento.

10 **Aplicabilidad industrial**

Esta invención se implementa con equipos de uso general ampliamente usados en la industria.

**REIVINDICACIONES**

1. El método para medición 3D del objeto usando retroiluminación estructurada consiste en proyectar una imagen predeterminada que tiene al menos dos líneas que no se cruzan a lo largo de uno de los ejes longitudinales sobre el objeto controlado, grabar la luz emitida por la unidad de proyección y reflejada desde el objeto usando al menos dos cámaras instaladas a distancias diferentes de la unidad de proyección formando ángulos de triangulación diferentes entre el haz central de la unidad de proyección y los haces centrales de las cámaras, posteriormente identificar cada línea proyectada por la unidad de proyección y formada por la luz reflejada recibida por cada cámara comparando las coordenadas de las líneas recibidas por las cámaras, con el ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la primera cámara ubicada a la distancia mínima de la unidad de proyección asumida igual al arcotangente de la ratio entre la distancia entre las bandas proyectadas y la profundidad focal de la lente de esta cámara, determinar las coordenadas longitudinales de los centros de línea y coordenadas verticales como el cociente de la coordenada longitudinal por la tangente del ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la primera cámara en la imagen de la primera cámara, y usar el valor de coordenada vertical obtenido usando la segunda cámara ubicada en un ángulo de triangulación más grande que el de la primera cámara para ajustar la coordenada vertical, por lo que las posiciones de la mismas líneas en la imagen de la segunda cámara se identifican como las más cercanas a las coordenadas longitudinales calculadas como el producto de la coordenada vertical anterior determinada usando la primera cámara y la tangente del ángulo de triangulación de segunda cámara, tras lo que se determinan los valores ajustados de las coordenadas longitudinales y verticales para estas líneas.
2. El método de la reivindicación 1, donde determinar las coordenadas longitudinales de los centros de línea en la imagen de la primera cámara se hace tomando los píxeles más brillantes en su anchura.
3. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en donde se asume que la distancia entre la cámara y la unidad de proyección es el producto de la distancia desde la unidad de proyección al punto de intersección de los haces centrales de la unidad de proyección y la cámara y la tangente del ángulo de triangulación entre el haz central de la unidad de proyección y el haz central de la cámara.
4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 4 en donde el valor de coordenada vertical obtenido usando las cámaras tercera, cuarta y subsiguientes se usa además para ajustar la coordenada vertical.
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 4 en donde las cámaras se colocan en un lado de la unidad de proyección.
6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 4 en donde las cámaras se colocan en dos lados de la unidad de proyección.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 4 en donde medir y determinar las coordenadas se hace usando un procesador informático, con la salida de imagen 3D a la pantalla de ordenador.

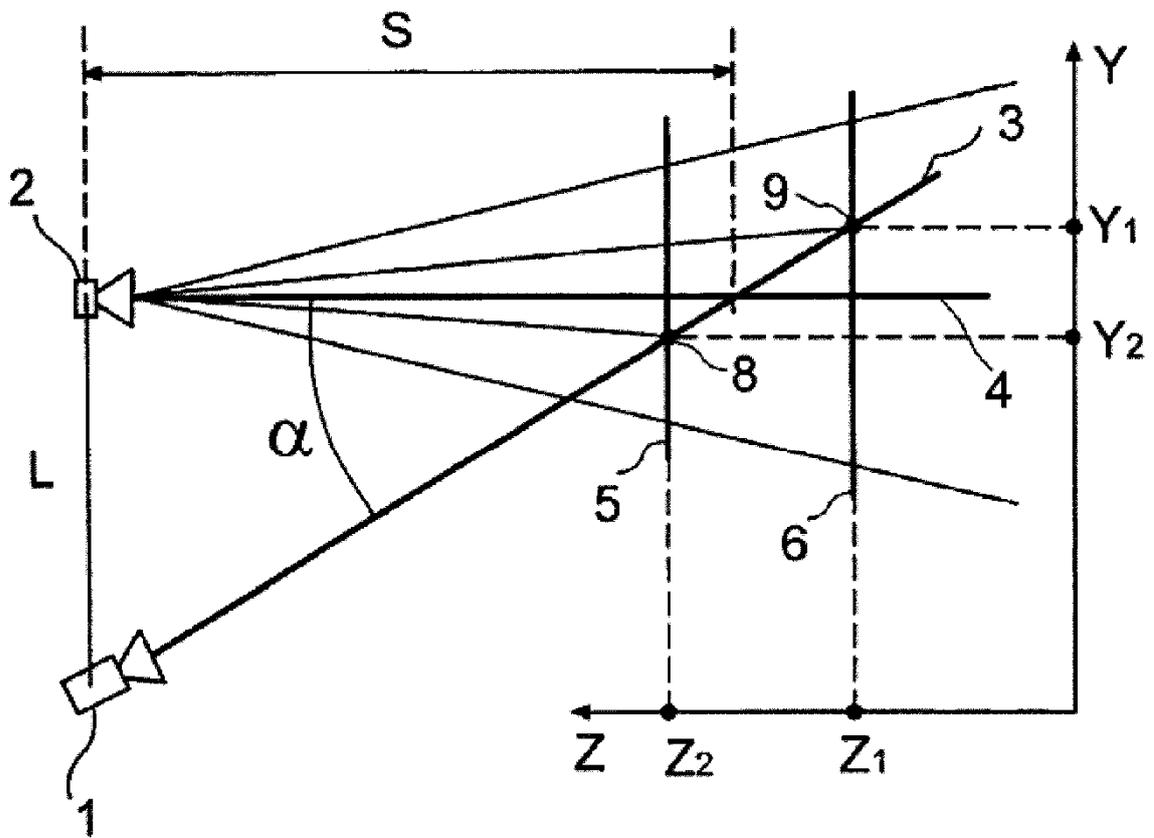


Fig. 1

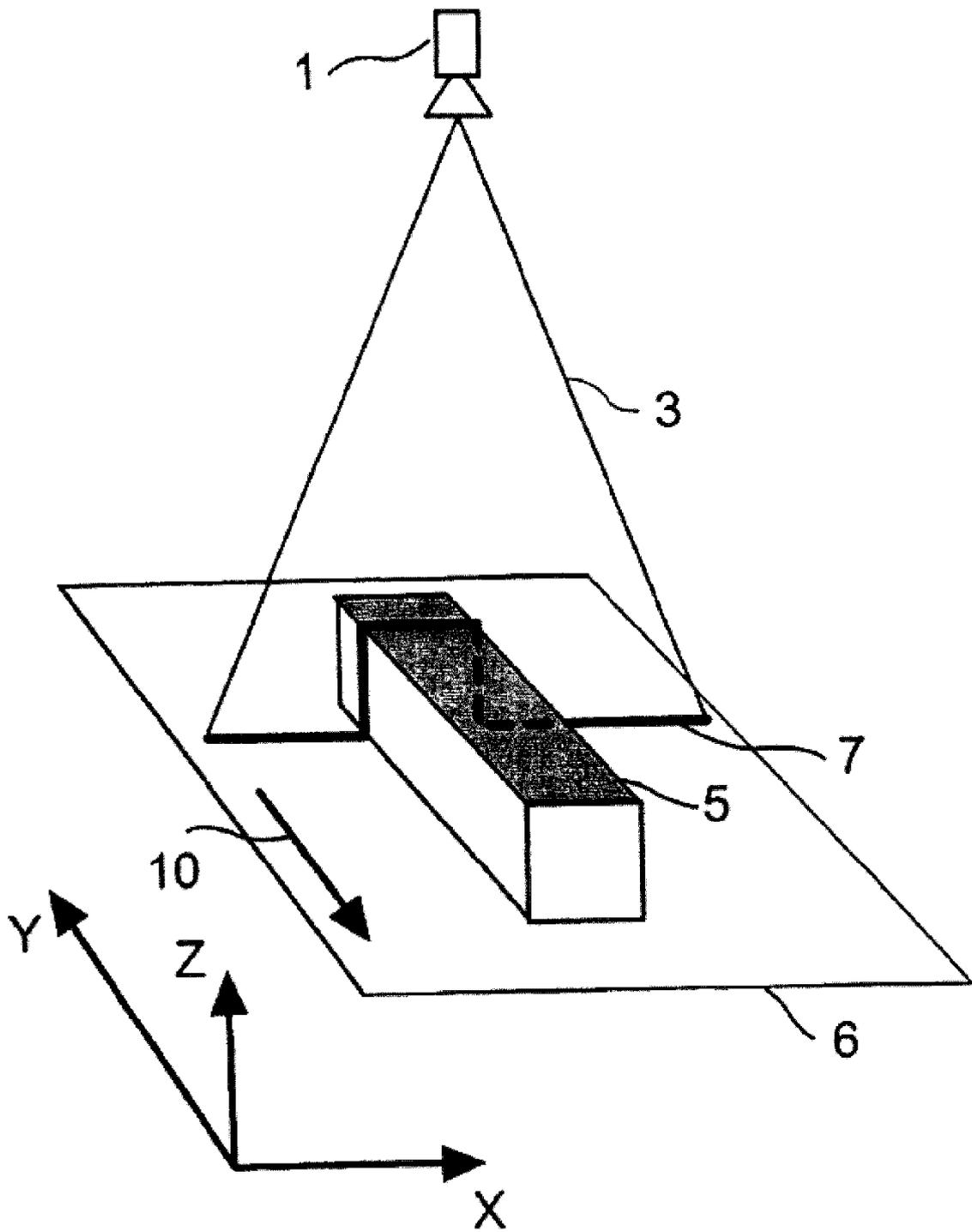


Fig. 2

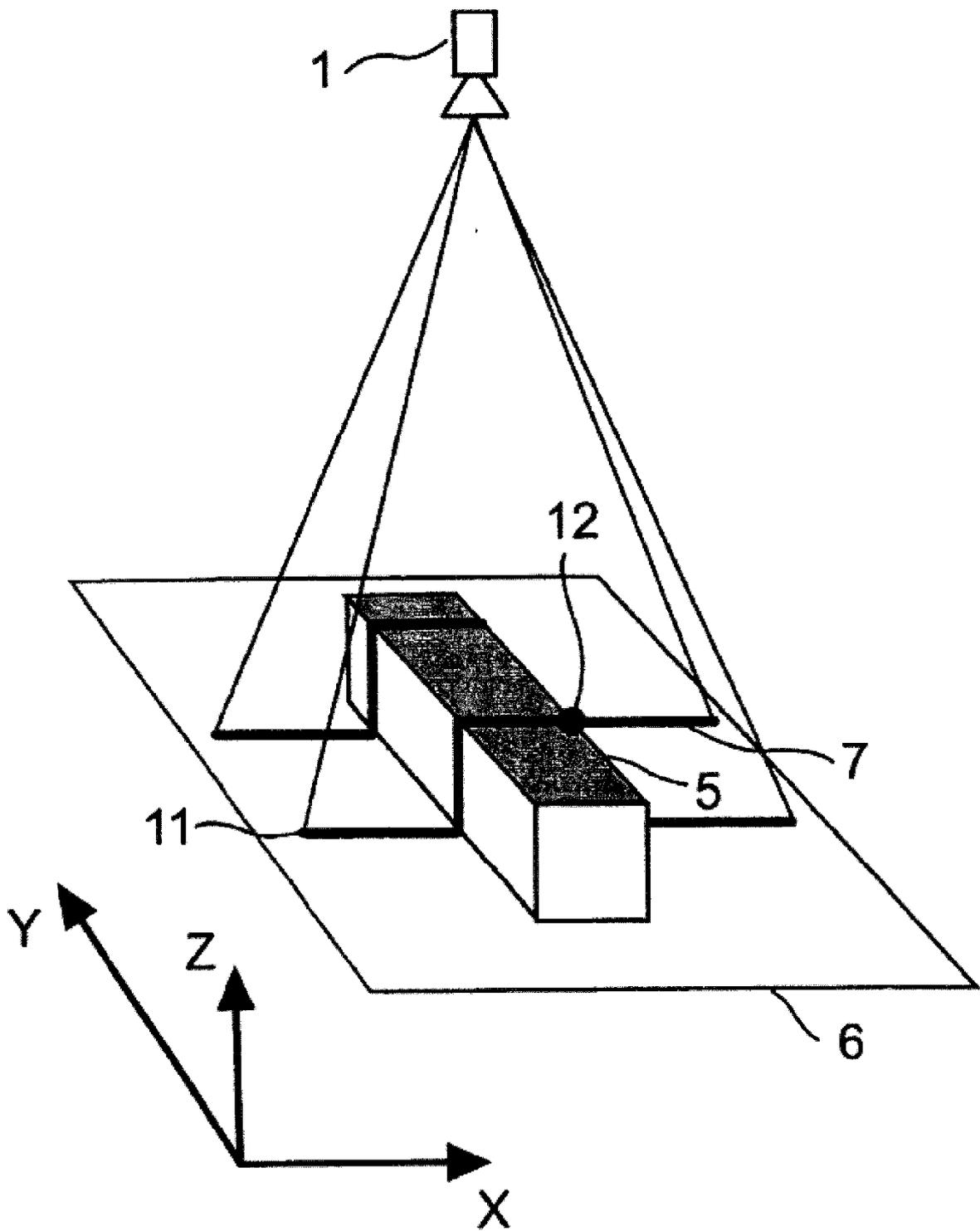


Fig. 3

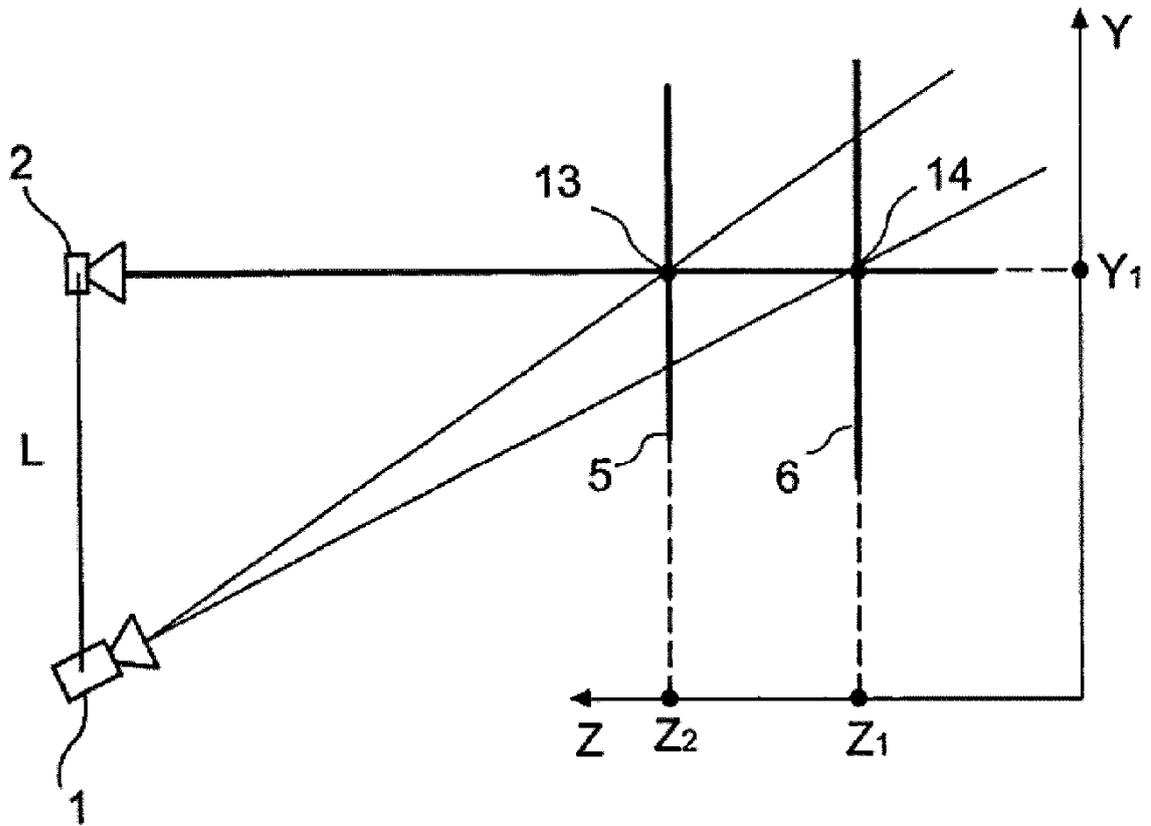


Fig. 4

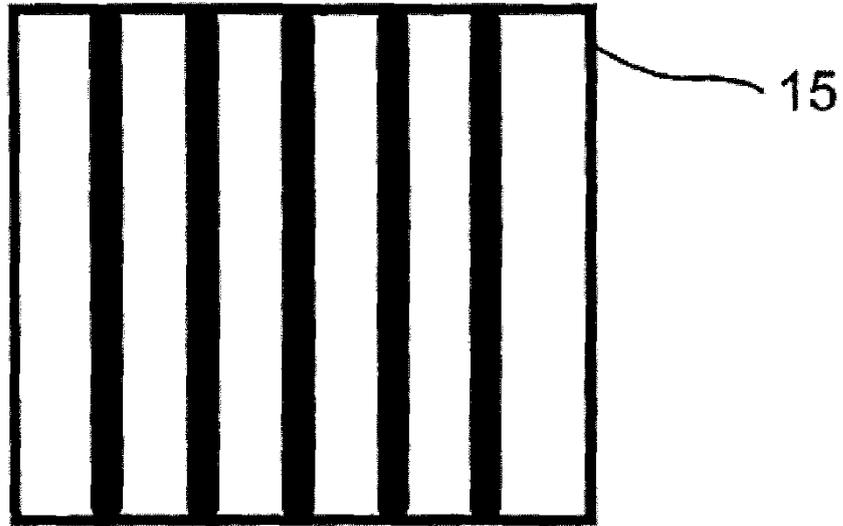


Fig. 5a

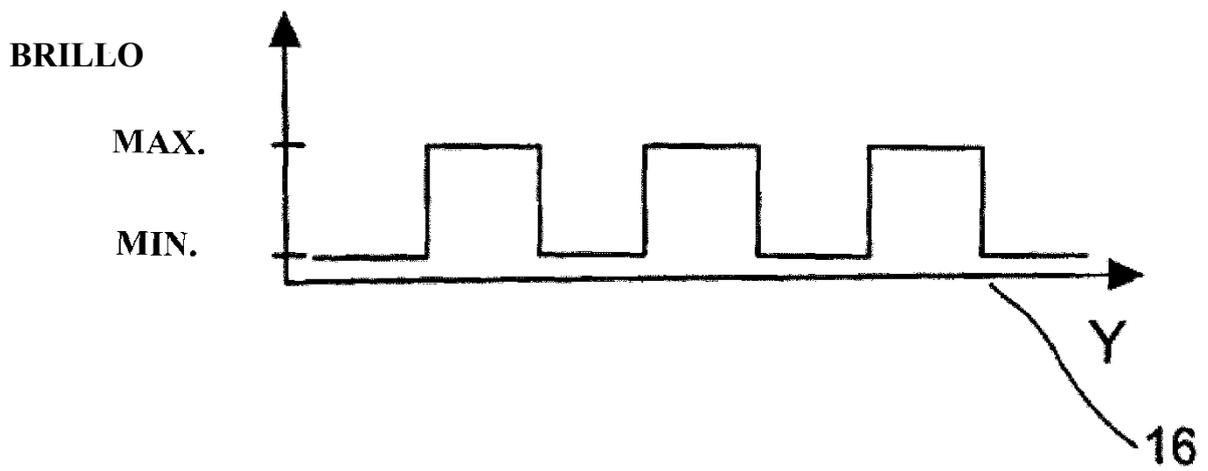


Fig. 5c

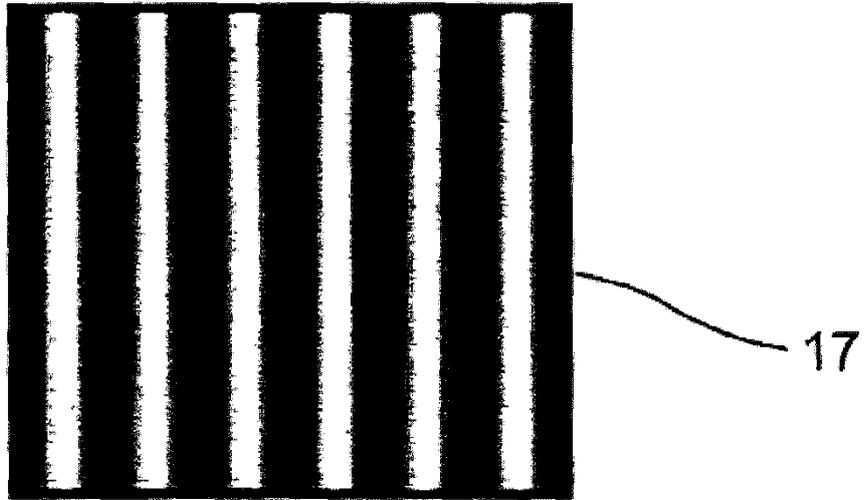


Fig. 5b

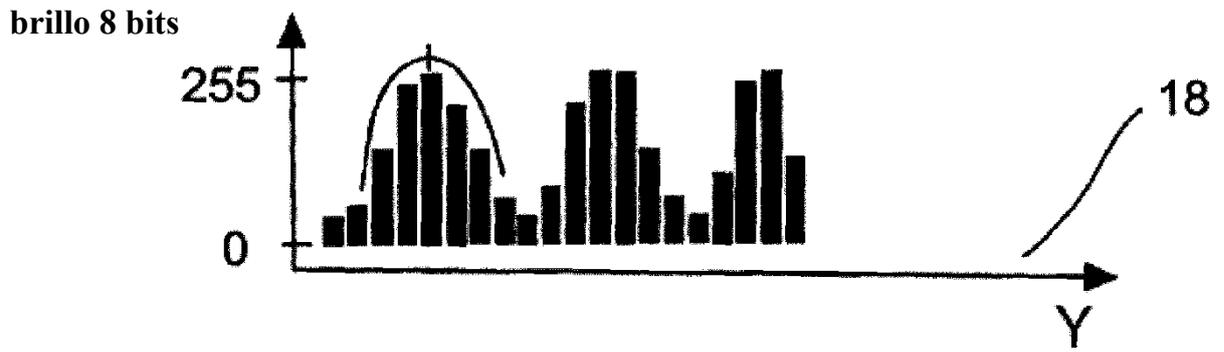


Fig. 5d

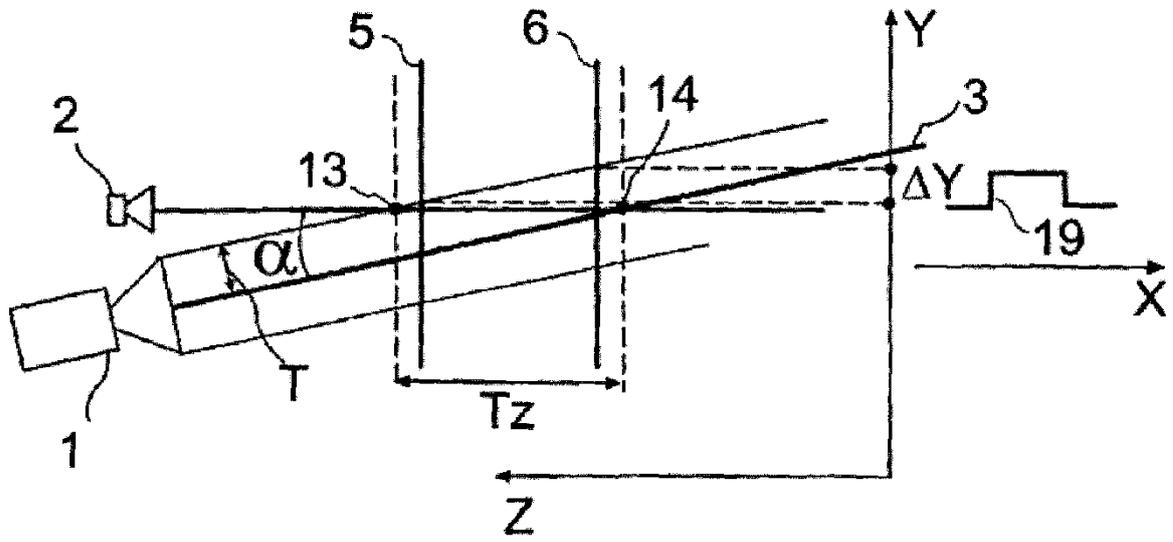


Fig. 6

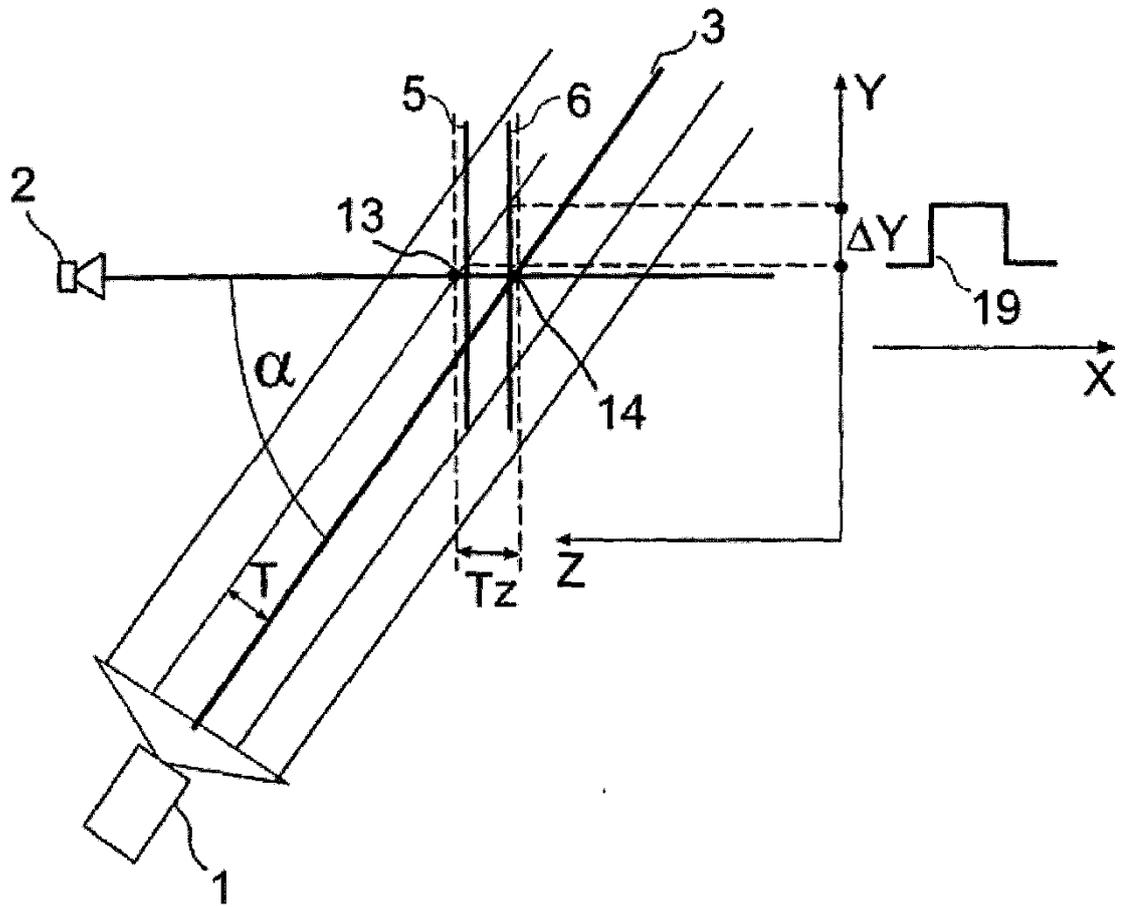


Fig. 7



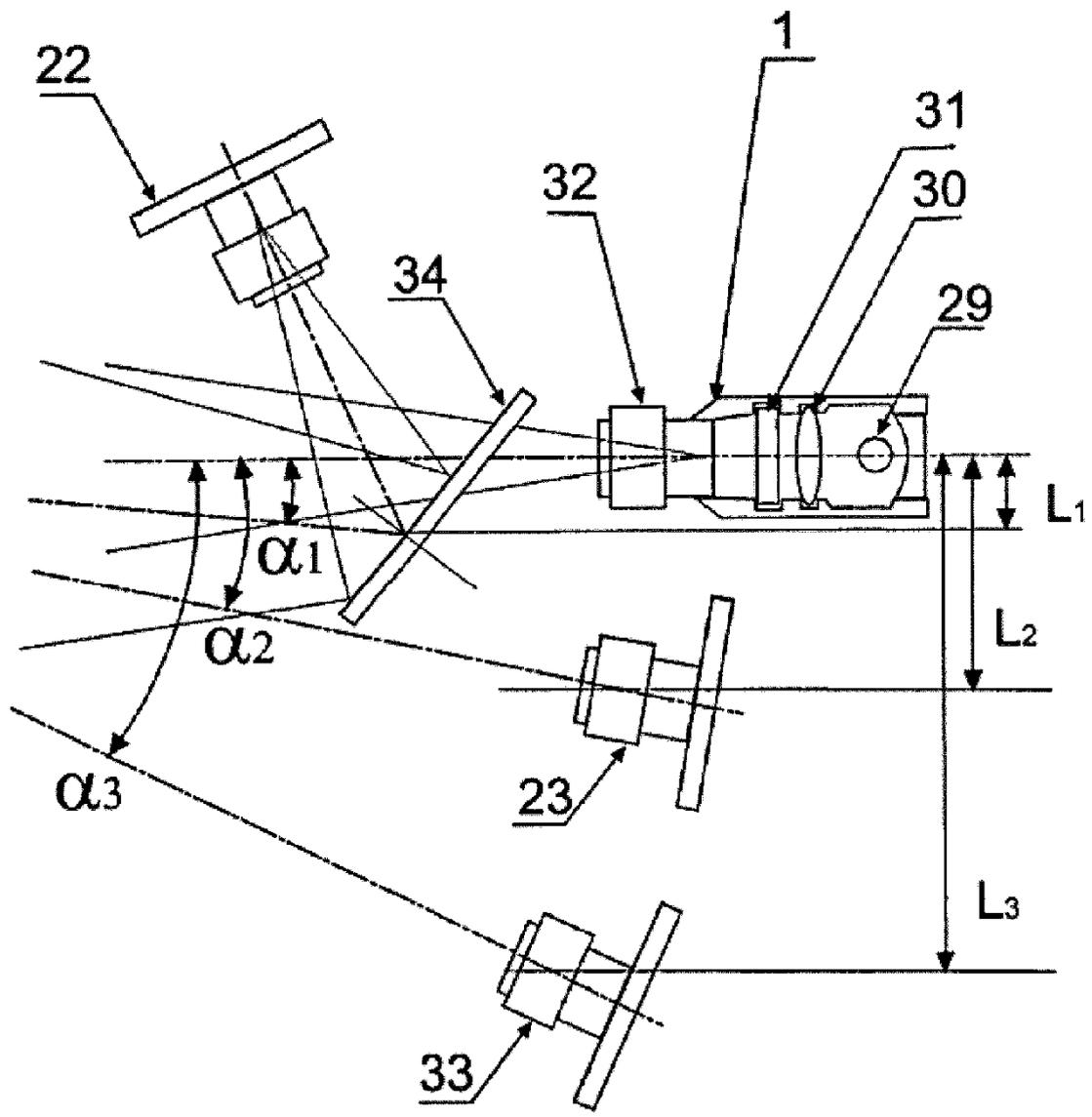


Fig. 9

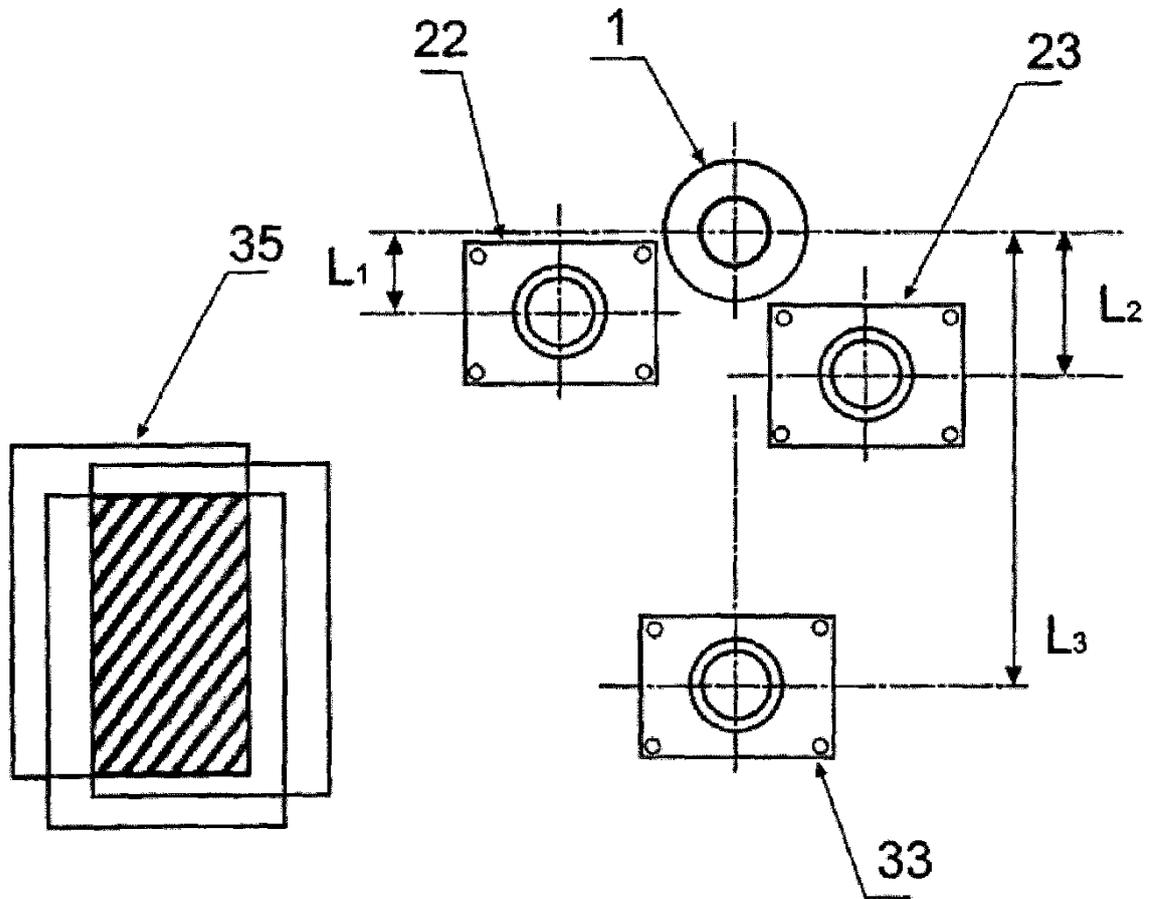


Fig. 10

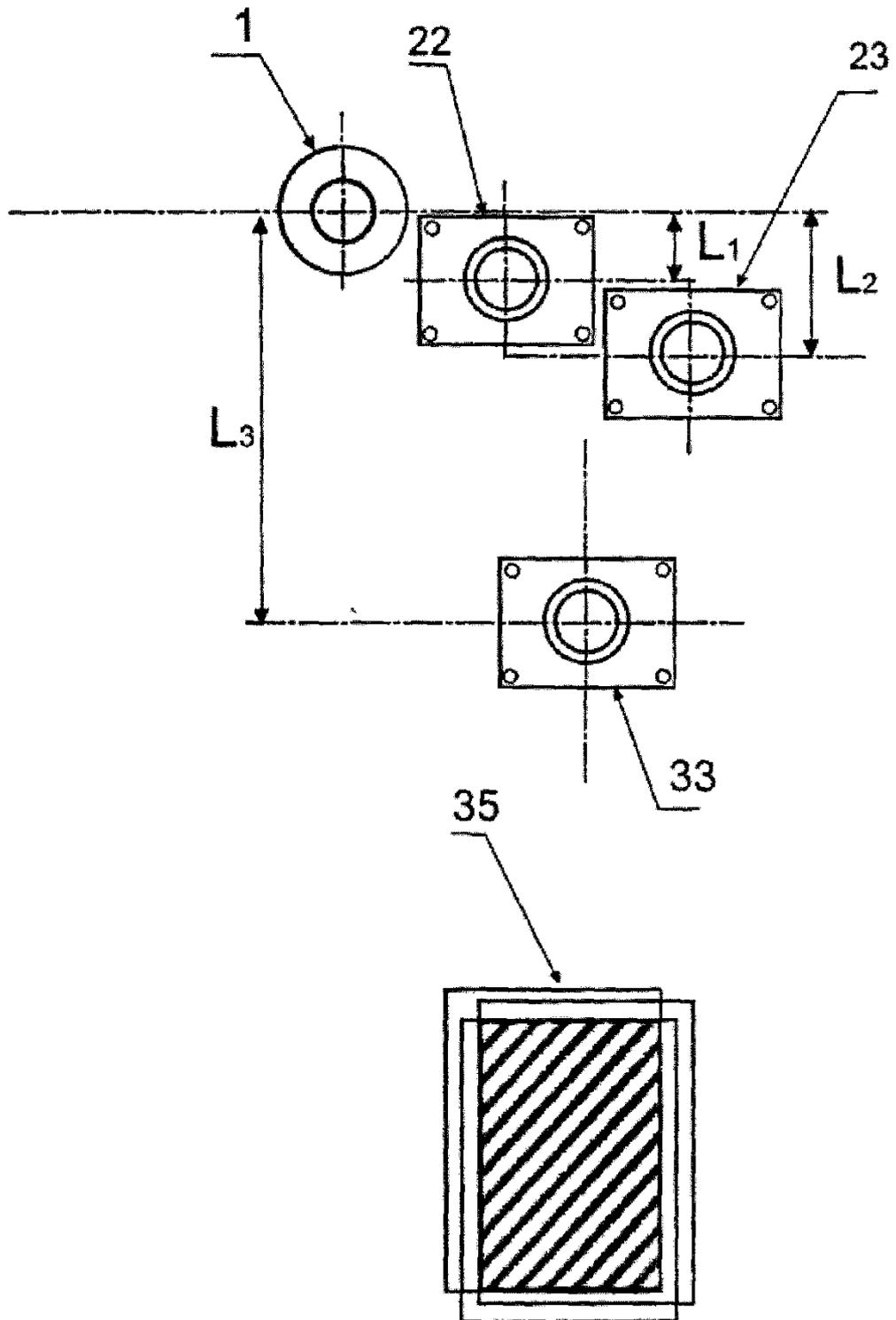


Fig. 11