

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 374**

51 Int. Cl.:

G01N 21/89 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2017** **PCT/EP2017/025149**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.12.2017** **WO17207115**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2017** **E 17729014 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024** **EP 3465171**

54 Título: **Sistema de inspección de superficie y método de inspección**

30 Prioridad:

30.05.2016 EP 16172026

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

11.11.2024

73 Titular/es:

BOBST MEX SA (100.0%)

Route de Faraz 3

1031 Mex, CH

72 Inventor/es:

RICHARD, MATTHIEU y

PILLOUD, FRANCIS

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 986 374 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

Sistema de inspección de superficie y método de inspección

5 La invención se refiere a un sistema de inspección de superficie y a un método de inspección para inspeccionar la superficie de un elemento laminar. La invención puede implementarse en particular en una estación de control de calidad en una máquina de procesamiento de elementos laminares.

10 En el presente caso, se entiende que la expresión "máquina de procesamiento de elementos laminares" comprende cualquier máquina que se esté usando para procesar elementos laminares tales como papel, cartón o materiales similares, en particular, máquinas de impresión, máquinas de recubrimiento, máquinas de laminado y máquinas de conversión (por ejemplo, corte, estampado, plegado y/o encolado).

15 En general, es conocido el control de la calidad de los elementos laminares por medio de una cámara. En términos generales, la cámara captura imágenes de los elementos laminares que se transportan a través de la estación de control de calidad, y se analizan las imágenes capturadas con respecto a muchos parámetros diferentes para obtener información sobre si los elementos laminares cumplen o no ciertos criterios.

20 Ciertos tipos de defectos de la superficie de elementos laminares a veces son difíciles de detectar. Esto es particularmente cierto si van a detectarse defectos tales como arañazos en una superficie altamente reflectante ("brillante") de elementos laminares que se están haciendo avanzar a velocidades de varios metros por segundo a través de una estación de inspección de calidad. El documento de patente US 6.166 393 A divulga un método y un aparato para la inspección automática de superficies en movimiento usando al menos tres canales de iluminación/observación diferentes, con lo que los canales de iluminación se sitúan simétricamente con respecto a
25 un plano que está inclinado en relación con un plano normal de la superficie que va a inspeccionarse con el mismo ángulo que una cámara en el lado opuesto de dicho plano normal. El documento de patente US 2010/0091272 A1 divulga un aparato de inspección de superficie que incluye una unidad de irradiación que tiene una pluralidad de fuentes de luz situadas adyacentes una a otra que emiten respectivamente una pluralidad de haces de luz de iluminación que tienen diferentes intervalos de longitud de onda. El aparato comprende además una unidad de
30 formación de imágenes para capturar imágenes de luz que se origina en dichas fuentes de luz y que es reflejada especularmente por una superficie que va a inspeccionarse.

El objeto de la invención es detectar de forma fiable defectos superficiales tales como arañazos en superficies altamente reflectantes de elementos laminares.

35 Para conseguir este objeto, la invención proporciona un sistema de inspección de superficie, como se define en la reivindicación 1, para inspeccionar la superficie de elementos laminares presentes en un área de inspección, que comprende una unidad de evaluación de imágenes, dos fuentes de luz dispuestas adyacentes una a otra en lados opuestos de un plano de iluminación y orientadas para iluminar el área de inspección, y una cámara adaptada para
40 capturar imágenes lineales del área de inspección a lo largo de un plano de visualización, estando dispuestos el plano de iluminación y el plano de visualización en lados opuestos de un plano medio que es perpendicular a un plano de inspección, siendo el ángulo entre el plano de iluminación y el plano medio el mismo que el ángulo entre el plano de visualización y el plano medio.

45 Además, la invención proporciona un método, como se define en la reivindicación 10, para inspeccionar la superficie de elementos laminares usando el sistema de inspección de superficie como se ha definido anteriormente, en donde una primera de las dos fuentes de luz dirige luz sobre el elemento laminar que va a inspeccionarse, y la cámara captura una imagen lineal del área de inspección, y entonces la segunda de las dos
50 fuentes de luz dirige luz sobre el elemento laminar que va a inspeccionarse, y la cámara captura una imagen lineal del área de inspección, en donde la unidad de evaluación de imágenes compara las imágenes lineales capturadas una con otra, en particular, sustrae las imágenes lineales una de otra.

La idea básica de la invención es comparar dos imágenes lineales de la misma área superficial del elemento laminar que va a inspeccionarse, siendo la diferencia de las imágenes lineales el ángulo bajo el cual la luz usada
55 para iluminar el área superficial se dirige hacia la superficie. Para la primera imagen lineal, la luz procede de una primera de las fuentes de luz dispuesta en un lado del plano de iluminación, y para la segunda imagen lineal, la luz procede de la segunda fuente de luz. Para facilitar el entendimiento, las fuentes de luz se denominan en lo sucesivo fuente de luz "superior" y fuente de luz "inferior".

60 Debido a que en el presente caso se supone que la superficie del elemento laminar que va a inspeccionarse es brillante, la reflexión de la luz procedente de las dos fuentes de luz es, en teoría, especular (si se supone que la superficie es un espejo) y, en la práctica, cercana a la especular. Por lo tanto, la luz reflejada que se origina en la fuente de luz superior pasa por la cámara por su lado superior, y la luz reflejada que se origina en la fuente de luz inferior pasa por la cámara por su lado inferior.

65 Si la superficie del elemento laminar que se está inspeccionando fuera un espejo plano, la cámara no detectaría

ninguna luz, debido a que esta "vería" hacia el espacio entre las dos fuentes de luz. Debido a la reflexión cercana a la especular, en la práctica habrá algo de luz que será capturada por la cámara, en concreto, luz dispersa. Además, debido a que la apertura de la cámara no es cero, la cámara verá para cada píxel una superficie circular en el plano de luz, debido a que la cámara no se enfoca hacia las fuentes de luz sino hacia la superficie del elemento laminar. De hecho, la cámara capturará una imagen lineal que consiste en el margen inferior de la imagen reflejada de la fuente de luz superior, y una imagen lineal que consiste en el margen superior de la imagen reflejada de la fuente de luz inferior. La conclusión es que estas imágenes lineales que la cámara capturará, son (casi) idénticas para una superficie que es plana. Si se comparan estas imágenes lineales (por ejemplo, restándolas una de otra), no habrá ninguna diferencia (y para una sustracción, el resultado será cero).

También es posible que las fuentes de luz se superpongan. En otras palabras, no tiene que haber necesariamente un espacio libre entre las fuentes de luz, hacia el que la cámara puede "ver".

Sin embargo, esta situación con respecto a las imágenes lineales capturadas cambia significativamente cuando, en la superficie del elemento laminar inspeccionado, está presente un defecto superficial tal como un arañazo. El defecto superficial cambia localmente la orientación del "espejo" de tal modo que la luz procedente de las fuentes de luz superior e inferior ya no se refleja simétricamente hacia la cámara sino asimétricamente con respecto a la cámara (obviamente, solo localmente en donde está presente el defecto superficial). Como un ejemplo, se supone que el defecto superficial da como resultado que la superficie se ladee localmente de tal modo que la luz procedente de la fuente de luz superior se refleje directamente hacia la cámara. Esto necesariamente da como resultado que la luz procedente de la cámara inferior se refleje más lejos de la cámara de lo que era el caso en una situación sin un defecto superficial.

Las dos imágenes lineales capturadas por la cámara son, en consecuencia, diferentes. Suponiendo que la reflexión es especular, la cámara "ve" la fuente de luz superior (en el punto del defecto superficial) mientras que no ve la fuente de luz inferior. Si se comparan estas imágenes lineales, está presente una diferencia notable (en el punto del defecto superficial).

Es posible usar una cámara con un área de visualización que cubre el área de inspección. Para elementos laminares más anchos, es posible usar una pluralidad de cámaras que se disponen adyacentes una a otra, con el área de visualización combinada de las cámaras cubriendo el área de inspección.

Los ángulos adecuados entre el plano de iluminación y el plano medio están en el intervalo de 15° a 30° y preferiblemente son del orden de 20°.

De acuerdo con la invención reivindicada, las dos fuentes de luz (las fuentes de luz "superior" e "inferior") están inclinadas con respecto al plano de iluminación un ángulo en el intervalo de 5° a 10° y preferiblemente del orden de 7,5°.

La cámara puede ser, en particular, una cámara lineal. Esto da como resultado que la unidad de evaluación de imágenes tenga que tratar con una cantidad reducida de datos, permitiendo de ese modo unas velocidades de procesamiento altas. Como una alternativa a una cámara lineal, la cámara puede ser una cámara 2D.

En vista de que la cámara es preferiblemente una cámara lineal, la expresión "imagen lineal" se está usando en el presente caso cuando se hace referencia a las imágenes capturadas por la cámara. Sin embargo, si la cámara es una cámara de área, la imagen lineal capturada por la cámara no consiste solo en una única línea sino en una pluralidad de líneas.

Dependiendo de la evaluación que vaya a hacerse, la cámara es una cámara de color si la información de color es de interés. En vista de la cantidad de datos a procesar, sin embargo, podría ser ventajoso usar una cámara de escala de grises (monocromática).

Para una detección fiable de defectos superficiales tales como arañazos, la cámara tiene ventajosamente una resolución, en la superficie del elemento laminar que va a inspeccionarse, en el intervalo de 0,05 a 0,6 mm y preferiblemente del orden de 0,1 mm.

En vista de emplear el sistema de inspección de superficie y el método en máquinas de procesamiento de láminas, la cámara se adapta para capturar más de 10.000 imágenes lineales por segundo y preferiblemente más de 40.000 imágenes lineales por segundo. Tal tasa es ventajosa debido a que permite tomar dos imágenes lineales de la misma área superficial que va a inspeccionarse, en concreto, una con la superficie siendo iluminada por una de las fuentes de luz y una segunda con la superficie siendo iluminada por la segunda fuente de luz, sin que el elemento laminar se haya movido significativamente entre las dos imágenes lineales. Por lo tanto, puede considerarse que las dos imágenes lineales muestran la misma área superficial del elemento laminar.

Cuando se está usando una cámara de alto rendimiento que es capaz de capturar 40.000 imágenes lineales por segundo o incluso más, es posible hacer avanzar los elementos laminares con una velocidad del orden de 1 a

5 m/s e incluso hasta 15 m/s con respecto al sistema de inspección de superficie.

O bien un sistema de transporte adecuado para hacer avanzar los elementos laminares a través del área de visualización de la cámara es parte del sistema de inspección de superficie, o bien el sistema de inspección de superficie está asociado con dicho sistema de transporte.

Aunque la invención puede emplearse hasta cierto punto para superficies que dan como resultado una reflexión difusa, esta ha demostrado ser particularmente ventajosa cuando los elementos laminares inspeccionados tienen al menos parcialmente una superficie reflectante, por ejemplo, un barniz brillante transparente encima de cartón difuso (caja de cartón).

Es posible que una unidad de procesamiento de imágenes componga las diferentes imágenes lineales capturadas para dar una imagen completa. Como un ejemplo, la unidad de procesamiento de imágenes puede reconstituir una imagen de iluminación de campo claro completa y una imagen de iluminación de campo oscuro completa a partir de las imágenes lineales entrelazadas. Estas imágenes reconstituidas pueden usarse para realizar diversos procesos de comprobación de calidad posteriores. Por ejemplo, la extensión de un arañazo puede determinarse en una imagen diferencial. Esta información puede usarse para decidir si rechazar, o no, la lámina.

La invención se describirá a continuación con referencia a una realización preferida que se muestra en los dibujos adjuntos. En los dibujos,

- la figura 1 muestra esquemáticamente en una vista lateral un sistema de inspección de superficie de acuerdo con la invención empleado en una estación de control de calidad de una máquina de procesamiento de elementos laminares;
- la figura 2 muestra esquemáticamente el sistema de inspección de superficie de la figura 1 en una vista superior;
- la figura 3 muestra esquemáticamente el sistema de inspección de superficie de la figura 1 con mayor detalle;
- la figura 4 muestra esquemáticamente las condiciones de iluminación durante una inspección de una superficie que no tiene ningún defecto superficial;
- la figura 5 muestra esquemáticamente las imágenes lineales capturadas por la cámara del sistema de inspección de superficie en las condiciones de la figura 4, y el resultado de una comparación de las dos imágenes lineales;
- la figura 6 muestra esquemáticamente las condiciones de iluminación durante una inspección de una superficie que tiene un defecto superficial;
- la figura 7 muestra esquemáticamente las imágenes lineales capturadas por la cámara del sistema de inspección de superficie en las condiciones de la figura 6, y el resultado de una comparación de las dos imágenes lineales;
- la figura 8 muestra esquemáticamente las diferentes imágenes lineales capturadas por la cámara; y
- la figura 9 muestra esquemáticamente cómo se están generando imágenes reconstruidas basándose en las imágenes lineales capturadas en diferentes condiciones de iluminación.

En la figura 1, se muestra esquemáticamente una estación de control de calidad 2, que se emplea en una máquina de procesamiento de elementos laminares de la que se muestran unas mesas transportadoras 3. La máquina de procesamiento de elementos laminares puede procesar elementos laminares 4 que se están transportando en la dirección de la flecha A. Los elementos laminares 4 pueden ser láminas de papel, cartón o un material similar, o pueden tener la forma de una banda más larga. La máquina de procesamiento de elementos laminares puede ser una máquina de impresión, una máquina de estampado, una máquina de laminado, una máquina de plegado, una máquina de encolado, etc.

La estación de control de calidad 2 se usa para controlar la calidad de los elementos laminares 4. En términos generales, comprende un sistema de inspección de superficie 10. El sistema de inspección de superficie 10 comprende un sistema de iluminación 11 con dos fuentes de luz 12, 14 para dirigir luz sobre un área de inspección 5 de una superficie de un elemento laminar 4 que se está inspeccionando actualmente, una cámara 16 para capturar imágenes lineales y una unidad de evaluación de imágenes 18.

El área de inspección 5 es una zona alargada y estrecha que se extiende a lo largo de la anchura completa del paso a lo largo del cual se están transportando los elementos laminares 4, siendo el eje longitudinal del área de inspección 5 preferiblemente perpendicular a la dirección A (véase la figura 2).

Los detalles del sistema de inspección de superficie 10 se están explicando ahora con referencia a la figura 3.

La superficie superior de la mesa transportadora 3 se designa con el número de referencia 20. Puede considerarse que esta superficie es uniforme o plana (al menos en el área de inspección 5). En consecuencia, también se considera que la superficie superior de un elemento laminar 4 inspeccionado en el área de inspección 5 es uniforme o plana. El número de referencia M designa un plano medio que se extiende perpendicularmente con respecto a la superficie 20 (y, en consecuencia, también perpendicularmente con respecto a la superficie superior del elemento laminar 4 dentro del área de inspección 5) y que, en este ejemplo, también es perpendicular a la dirección A. También puede tener otra orientación, lo que se analizará más adelante. En cualquier caso, el plano medio M debe no ser paralelo a la dirección A.

La cámara 16 se dispone de tal modo que su plano óptico O_{16} está inclinado un ángulo α con respecto al plano P. En una realización preferida, el ángulo α en el presente caso es del orden de 20° . Dependiendo de las restricciones de construcción y de la naturaleza particular de la inspección a llevar a cabo, podrían elegirse asimismo otros ángulos.

La cámara 16 es preferiblemente una cámara lineal que tiene una resolución de 0,05 a 0,3 mm en la superficie 20 de tal modo que pueden discernirse elementos del orden de 0,05 a 0,3 mm en la superficie de los elementos laminares 4. La línea de sensor de la cámara 16 se orienta en paralelo al eje longitudinal del área de inspección 5.

La unidad de iluminación 11 tiene un plano óptico O_{11} que está inclinado al mismo ángulo α con respecto al plano M, pero se dispone en el lado opuesto del plano medio M. Por lo tanto, la unidad de iluminación 11 se dispone aguas arriba del área de inspección 5 y del plano medio M mientras que la cámara 16 se dispone aguas abajo del área de inspección 5 y del plano medio M. Sin embargo, también podría ser al revés.

Los ejes longitudinales de las fuentes de luz 12, 14 se disponen en paralelo con el eje longitudinal del área de inspección 5.

Las dos fuentes de luz se disponen simétricamente en el lado opuesto del plano óptico O_{11} . Un ángulo β que designa la inclinación de cada uno de los planos ópticos de las fuentes de luz 12, 14 con respecto al plano óptico O_{11} de la unidad de iluminación 11 es, en el presente caso, del orden de $7,5^\circ$. La orientación de los planos ópticos de las fuentes de luz 12, 14 es de tal modo que la luz generada por las fuentes de luz 12, 14 cae sobre la superficie de un elemento laminar 4 en el área de inspección 5 y cubre la anchura completa del mismo en un caso en el que se está usando una única unidad de iluminación 11.

Como una alternativa a la disposición mostrada de las fuentes de luz 12, 14, también es posible disponer estas inmediatamente adyacentes sin ningún espacio libre entre las mismas.

Las fuentes de luz 12, 14 pueden formarse a partir de una pluralidad de LED dispuestos de forma próxima. Se están usando lentes y otros elementos ópticos, tales como difusores, para generar un haz de luz en forma de banda estrecha, y se dirige sobre la superficie de los elementos laminares 4 en el área de inspección 5. Además, la luz es sustancialmente uniforme en la dirección x del área de visualización 5 de tal modo que se logra una radiancia uniforme tanto en la dirección x como en la dirección y.

Las fuentes de luz 12, 14 pueden compartir un difusor común.

También es posible usar dos o más unidades de iluminación que se disponen adyacentes una a otra en una dirección transversal. De una forma similar, es posible usar dos o más cámaras dispuestas adyacentes una a otra en una dirección transversal. Cada una de las unidades de iluminación o cámaras "cubre" entonces una parte de la anchura del área de inspección 5.

Como resultado de que los planos ópticos O_{11} y O_{16} estén orientados de forma especularmente simétrica con respecto al plano medio M mientras que las dos fuentes de luz 12, 14 se disponen desplazadas angularmente con respecto al plano óptico O_{11} , la cámara "ve" el espacio entre las dos fuentes de luz (en concreto, el espacio a lo largo del plano óptico O_{11} cuando se está suponiendo que la superficie del elemento laminar es altamente reflectante ("brillante") y plana). Esta suposición es correcta para la aplicación preferida del método de inspección de superficie en cuestión y el sistema de inspección de superficie en cuestión.

Suponiendo ahora que las fuentes de luz generan luz que cae sobre la superficie de un elemento laminar brillante 4 en el área de inspección 5, puede entenderse que la luz de ninguna de las dos fuentes de luz es detectada por la cámara 16. La luz que se origina en la fuente de luz 12 se está reflejando a lo largo del plano R12, y la luz que se origina en la fuente de luz 14 se está reflejando a lo largo del plano R14.

Con referencia a las figuras 4 y 5, se está describiendo el modo general de funcionamiento del sistema de inspección de superficie.

Las fuentes de luz 12, 14 se están activando de forma intermitente, y la cámara 16 captura imágenes lineales de una de las dos condiciones de iluminación del área de inspección 5. Por lo tanto, la cámara 16 captura una imagen lineal I_{12} del área de inspección 5 siendo iluminada por la fuente de luz 12 y entonces captura una imagen lineal I_{14} del área de inspección 5 siendo iluminada por la fuente de luz 14. Esto se muestra esquemáticamente en la mitad superior de la figura 5. Para una mejor claridad, en el presente caso se muestra que cada imagen lineal capturada por la cámara 16 tiene 10 píxeles. En la práctica, cada imagen lineal puede consistir en varios miles hasta varias decenas de miles de píxeles, dependiendo de la resolución y la anchura del área de inspección 5.

Debido a que, para el ejemplo de la figura 4, se supone que la superficie del elemento laminar es brillante, plana y no tiene ningún defecto superficial, la luz se refleja como una reflexión especular y, a medida que la cámara "ve" hacia el espacio entre las dos fuentes de luz 12, 14 (véase la figura 4), la intensidad de las capturas de luz en cada píxel será (al menos en teoría) cero. Esto se ejemplifica con que los píxeles mostrados en la figura 5 están vacíos.

La unidad de evaluación de imágenes del sistema de inspección de superficie 10 compara las imágenes lineales capturadas. En una realización preferida, las imágenes lineales se sustraen una de otra. En la mitad inferior de la figura 5, el resultado de la sustracción se muestra como imágenes S. La primera columna es el resultado de que la primera imagen lineal I_{14} se reste de la primera imagen lineal I_{12} , dando como resultado la imagen sustraída S_1 . La segunda columna es el resultado de que la segunda imagen lineal I_{14} se reste de la segunda imagen lineal I_{12} , dando como resultado la imagen sustraída S_2 .

Puede verse que el valor de cada píxel del resultado de la sustracción también es necesariamente cero debido a que las imágenes lineales capturadas son idénticas.

Se lograría el mismo resultado si la sustracción se hiciera al revés (lo que significa: sustraer la primera imagen lineal capturada de la imagen lineal capturada más tarde).

Como el principio de inspección se basa en capturar dos imágenes lineales de los mismos puntos de la superficie de los elementos laminar 4, las imágenes lineales I_{12} y I_{14} se están capturando muy rápidamente una tras otra. Debido a que la cámara 16 captura las imágenes lineales a una tasa del orden de 10.000 líneas por segundo o más, una porción particular de la superficie del elemento laminar no se ha movido de forma perceptible en el intervalo de tiempo entre la captura de imágenes lineales sucesivas.

Dependiendo de la información particular que vaya a obtenerse de la inspección de superficie, la cámara puede ser una cámara de color o una cámara de escala de grises.

En el ejemplo mostrado, se supone que la superficie de la lámina 4 inspeccionada tiene propiedades de reflexión comparables a las de un espejo. En la práctica, la naturaleza incluso de superficies muy brillantes (superficies cubiertas con una lámina o barniz, superficies que portan un holograma) dará como resultado al menos una cierta cantidad en una reflexión cercana a la especular en lugar de una reflexión puramente especular. No obstante, el resultado de la comparación entre una imagen lineal I_{12} del área de inspección 5 capturada mientras está siendo iluminada por la fuente de luz 12 y una imagen lineal I_{14} del área de inspección 5 capturada mientras está siendo iluminada por la fuente de luz 14 será el mismo.

Suponiendo una reflexión cercana a la especular, en la práctica habrá algo de luz dispersa que será capturada por la cámara. Volviendo a la figura 3, la cámara 16 capturará algo de luz dispersa reflejada que se origina en la fuente de luz 12 y algo de luz dispersa reflejada que se origina en la fuente de luz 14, en concreto, algo de luz que está por encima de la línea R_{12} (lo que significa: más cerca del plano óptico O_{16}) y algo de luz que está por debajo de la línea R_{14} (lo que, de nuevo, significa: más cerca del plano óptico O_{16}).

En el supuesto de que la superficie del elemento laminar 4 sea plana, sin embargo, las dos imágenes lineales serán idénticas; la cámara capturará la misma intensidad de luz para cada píxel. Por lo tanto, el resultado de una sustracción de las imágenes lineales es el mismo que se muestra en la mitad inferior de la figura 5, en concreto, cero.

Con referencia a las figuras 6 y 7, ahora se está explicando la detección de un defecto superficial.

En términos generales, un defecto superficial puede considerarse como un área de la superficie en donde el "espejo" (la superficie reflectante) está orientado incorrectamente. El resultado de la orientación incorrecta del espejo es que la cámara 16 ya no es capaz de "ver" hacia el espacio entre las dos fuentes de luz 12, 14 adyacentes. Más bien, se perturba la simetría de la luz reflejada hacia la cámara, y existe una buena posibilidad de que la cámara verá directamente hacia una de las fuentes de luz (y, por lo tanto, capturará una imagen lineal con iluminación máxima) al tiempo que no será capaz de ver la otra fuente de luz (y, por lo tanto, capturará una imagen lineal sin ninguna iluminación).

La figura 6 muestra un defecto superficial en el área de inspección 5 que da como resultado que la luz procedente de la fuente de luz 14 se esté reflejando hacia la cámara 16 (iluminación de campo claro) mientras que la luz

procedente de la fuente de luz 12 se está reflejando lejos de la cámara (iluminación de campo oscuro).

Como puede verse en la figura 7, la imagen lineal I_{12} capturada tiene, por lo tanto, píxeles con una intensidad de cero mientras que la imagen lineal I_{14} capturada tiene algunos píxeles con una intensidad máxima (se supone en el presente caso que el defecto superficial tiene una anchura de cuatro píxeles).

Debido a que las imágenes lineales capturadas no son idénticas, el resultado de la comparación de las imágenes lineales muestra algunos píxeles (en la ubicación del defecto superficial) con un valor diferente de cero (es irrelevante si el valor es positivo o negativo; esto depende simplemente del orden en el que las dos imágenes lineales se estén sustrayendo una de otra). Los píxeles en el resultado S de la sustracción que tienen un valor diferente de cero son una indicación clara de que hay un defecto superficial.

En el ejemplo simplificado usado en el presente caso para explicar el sistema y el método, una distinción entre "sin defecto superficial" y "defecto superficial presente" requerirá una definición de un cierto umbral para la intensidad de los píxeles en el resultado de la comparación, debido a que, en la práctica, las dos imágenes lineales probablemente no serán idénticas al 100 % debido a las tolerancias (por ejemplo, en la intensidad de luz de las dos fuentes de luz) y debido a que cada dos imágenes lineales I_{12} y I_{14} capturadas posteriormente se han tomado de puntos ligeramente diferentes de la superficie del elemento laminar (debido a que el elemento laminar se hace avanzar continuamente durante la inspección de superficie). Cualquier intensidad por debajo de un umbral apropiado se considerará como "sin defecto superficial", y una intensidad por encima de este umbral se interpretará como "defecto superficial presente".

En la práctica, la detección de un defecto superficial, tal como un arañazo, no se basa en un umbral simple, sino que se basa en la detección de variaciones locales de una imagen de diferencia que se reconstruye a partir de las imágenes sustraídas S_n individuales. Esta imagen reconstruida puede ser de 800 mm x 800 mm y se reconstruye mientras el elemento laminar 4 se está moviendo a lo largo de la dirección A.

La forma en la que se obtiene una imagen reconstruida se describirá a continuación con referencia a las figuras 8 y 9.

En términos generales, a partir de las imágenes lineales entrelazadas capturadas en las diferentes condiciones de iluminación, se creará una primera imagen reconstruida (imagen reconstruida que consiste en las imágenes lineales capturadas bajo iluminación con la primera fuente de luz 12) y una segunda imagen reconstruida (imagen reconstruida que consiste en las imágenes lineales capturadas bajo iluminación con la segunda fuente de luz 14), y estas imágenes serán analizadas por la unidad de evaluación de imágenes.

Para todas las realizaciones, la iluminación del elemento laminar desde el que se están capturando imágenes lineales se sincroniza con la cámara y el desplazamiento del elemento laminar (velocidad de lámina). Como un ejemplo, se captura una imagen lineal cuando se ilumina el área de visualización, entonces, un período corto más tarde (cuando el elemento laminar ha sido movido, por ejemplo, 0,05 mm, la imagen de visualización se ilumina de nuevo, y se captura la siguiente imagen lineal, y así sucesivamente).

La figura 8 muestra esquemáticamente las imágenes lineales entrelazadas I_{12} (mostradas en líneas normales) y I_{14} (mostradas en líneas de puntos) capturadas por la cámara. En el presente caso, solo se muestran diez de las imágenes lineales de cada condición de iluminación. En la práctica, se están capturando varios miles de imágenes lineales I_{12} , I_{14} para cada elemento laminar 4. Suponiendo que se están capturando 4.000 imágenes lineales I_{12} y 4.000 imágenes lineales I_{14} para un elemento laminar 4 y que la cámara 16 es capaz de capturar 80.000 imágenes lineales por segundo, entonces pueden procesarse diez elementos laminares 4 por segundo.

La figura 9 muestra esquemáticamente cómo se reconstruye una primera imagen reconstruida 40 a partir de las imágenes lineales I_{12} y cómo se reconstruye una segunda imagen reconstruida 50 a partir de las imágenes lineales I_{14} .

En caso de que la cámara 16 capture imágenes lineales en más de las dos condiciones de iluminación que se describen en el presente caso (iluminación con dos fuentes de luz 12, 14 diferentes) y que se muestran en la figura 8, entonces los datos capturados por la cámara 16 consistirían en tres o más tipos de imágenes lineales entrelazadas, y se reconstruirían tres o más imágenes reconstruidas (una para cada condición de iluminación).

La unidad de evaluación de imágenes 18 procesa las imágenes reconstruidas 40, 50 (o bien en su totalidad o bien en aquellas porciones que sean de interés) para detectar un elemento de interés. En el presente caso, las imágenes reconstruidas 40, 50 se comparan para identificar arañazos en la superficie de los elementos laminares 4.

Supóngase que una imagen sustraída tiene un valor "normal" de 20 unidades de intensidad de escala de grises. Si el valor de escala de grises cambia repentinamente a 0 o 40 y, además, la variación de la intensidad de escala de grises tiene una forma geométrica que corresponde a un arañazo, entonces una unidad de evaluación de imágenes 18 identifica que esta área del elemento laminar incluye un arañazo. Existe un defecto superficial que

- no puede detectarse con el método descrito y el sistema descrito cuando la línea de sensor se orienta perpendicularmente con respecto a la dirección A a lo largo de la que se están haciendo avanzar los elementos laminares: un arañazo que se extiende perfectamente paralelo a la dirección A a lo largo de la cual se están haciendo avanzar los elementos laminares 4 a través de la estación de inspección de calidad 2. Tal defecto superficial dará como resultado que el valor de algunos píxeles de la imagen lineal capturada sea diferente de otros de una línea de píxeles, pero no habrá ningún cambio de intensidad entre las imágenes lineales I_{12} y I_{14} capturadas posteriormente.
- 5
- Para ser capaz de detectar defectos superficiales independientemente de su orientación, puede usarse un sistema de inspección de superficie adicional del tipo descrito anteriormente, siendo la orientación del área de inspección 5 diferente de la orientación del área de inspección del primer sistema de inspección de superficie.
- 10
- También es posible hacer que el área de inspección 5 de un primer sistema de inspección de superficie esté dispuesta a un ángulo de $+45^\circ$ con respecto a la dirección de desplazamiento A de los elementos laminares y que el área de inspección 5 de un segundo sistema de inspección de superficie esté dispuesta a un ángulo de -45° con respecto a la dirección A.
- 15
- El sistema de inspección de superficie 10 puede ser parte de una unidad de inspección más compleja con otras unidades de iluminación. En particular, las fuentes de luz 12, 14 pueden ser parte de unidades de iluminación más complejas que se están usando para detectar pliegues y estructuras en relieve sobre los elementos laminares.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de inspección de superficie (10) para inspeccionar la superficie de elementos laminares (2) presentes en un área de inspección (5), que comprende una unidad de evaluación de imágenes (18), dos fuentes de luz (12, 14) dispuestas adyacentes una a otra en lados opuestos de un plano de iluminación (O_{11}) y orientadas para iluminar el área de inspección (5), y una cámara (16) adaptada para capturar imágenes lineales (I_{12} , I_{14}) del área de inspección (5) a lo largo de un plano de visualización (O_{16}), estando dispuestos el plano de iluminación (O_{11}) y el plano de visualización (O_{16}) en lados opuestos de un plano medio (M) que es perpendicular a un plano de inspección, siendo el ángulo (α) entre el plano de iluminación (O_{11}) y el plano medio (M) el mismo que el ángulo (α) entre el plano de visualización (O_{16}) y el plano medio (M), con lo que las dos fuentes de luz (12, 14) están inclinadas con respecto al plano de iluminación (O_{11}) un ángulo (β) en el intervalo de 5° a 10° y preferiblemente del orden de $7,5^\circ$, y porque las dos fuentes de luz (12, 14) se disponen simétricamente en lados opuestos del plano de iluminación (O_{11}).
2. El sistema de inspección de superficie de la reivindicación 1, en donde un área de visualización de la cámara (16) cubre el área de inspección (5).
3. El sistema de inspección de superficie de la reivindicación 1, en donde una pluralidad de cámaras (16) se disponen adyacentes una a otra, con el área de visualización combinada de las cámaras (16) cubriendo el área de inspección (5).
4. El sistema de inspección de superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el ángulo (α) entre el plano de iluminación (O_{11}) y el plano medio (M) está en el intervalo de 15° a 30° y preferiblemente es del orden de 20° .
5. El sistema de inspección de superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (16) es una cámara lineal.
6. El sistema de inspección de superficie de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la cámara (16) es una cámara 2D.
7. El sistema de inspección de superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (16) es una cámara de color.
8. El sistema de inspección de superficie de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la cámara (16) es una cámara monocromática.
9. El sistema de inspección de superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (16) tiene una resolución, en la superficie del elemento laminar (4) que va a inspeccionarse, en el intervalo de 0,05 a 0,6 mm y preferiblemente del orden de 0,1 mm.
10. Un método para inspeccionar la superficie de elementos laminares (4) usando el sistema de inspección de superficie (10) como se define en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una primera de las dos fuentes de luz (12, 14) dirige luz sobre el elemento laminar (4) que va a inspeccionarse, y la cámara (16) captura una imagen lineal (I_{12} ; I_{14}) del área de inspección (5), y entonces la segunda de las dos fuentes de luz (14, 12) dirige luz sobre el elemento laminar (4) que va a inspeccionarse, y la cámara (16) captura una imagen lineal (I_{14} ; I_{12}) del área de inspección (5), en donde la unidad de evaluación de imágenes (18) compara las imágenes lineales (I_{12} ; I_{14}) capturadas una con otra, en particular, sustrae las imágenes lineales una de otra.
11. El método de la reivindicación 10, en donde la cámara (16) se adapta para capturar más de 10.000 imágenes lineales/s y preferiblemente más de 40.000 imágenes lineales/s.
12. El método de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en donde el elemento laminar (4) se está moviendo con respecto al sistema de inspección de superficie (10) con una velocidad del orden de 1 a 15 m/s.
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde los elementos laminares (4) inspeccionados tienen al menos parcialmente una superficie reflectante.
14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde se están combinando unas imágenes sustraídas (S_n) para formar una imagen reconstruida que está siendo analizada por la unidad de evaluación de imágenes (18).
15. El método de la reivindicación 14, en donde la unidad de evaluación de imágenes (18) analizó la imagen reconstruida para identificar cambios de la intensidad de escala de grises.

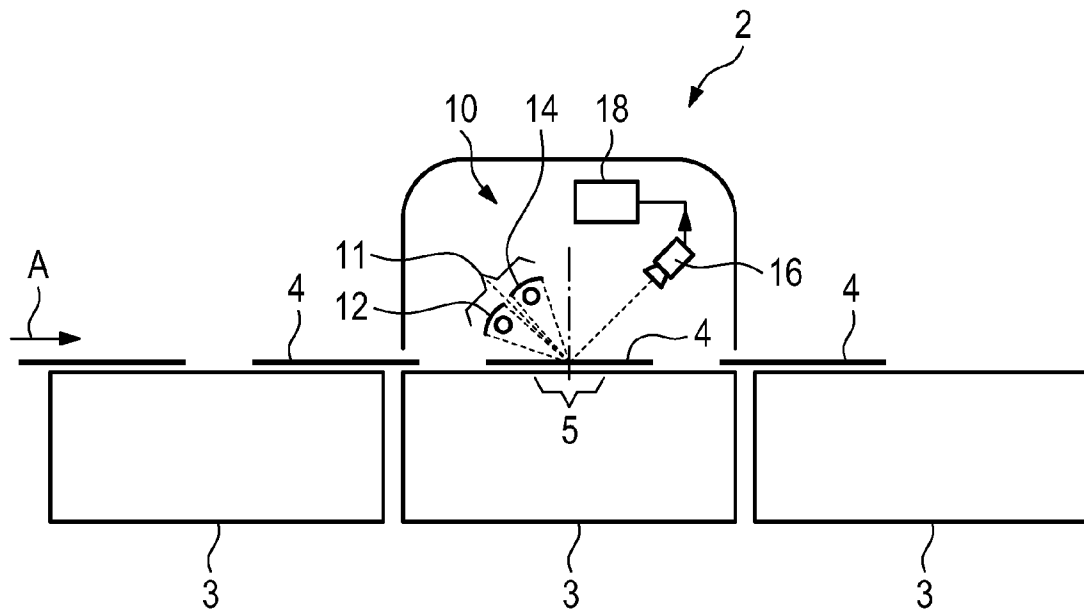


Fig. 1

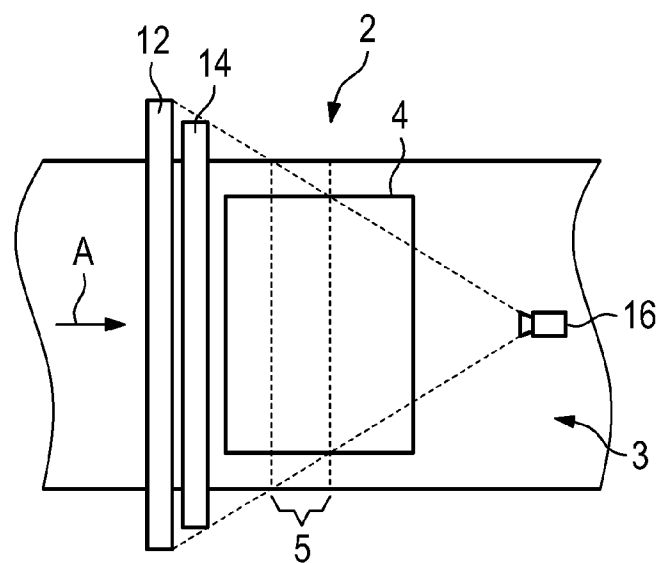
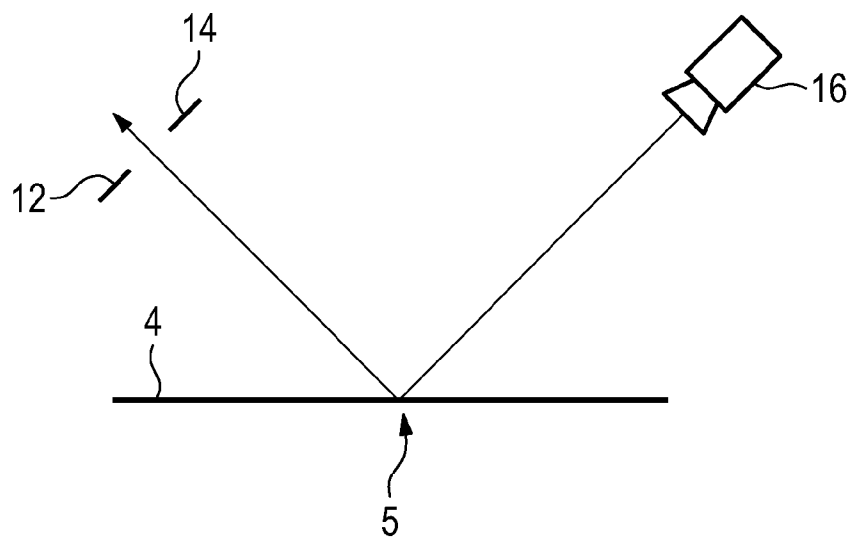
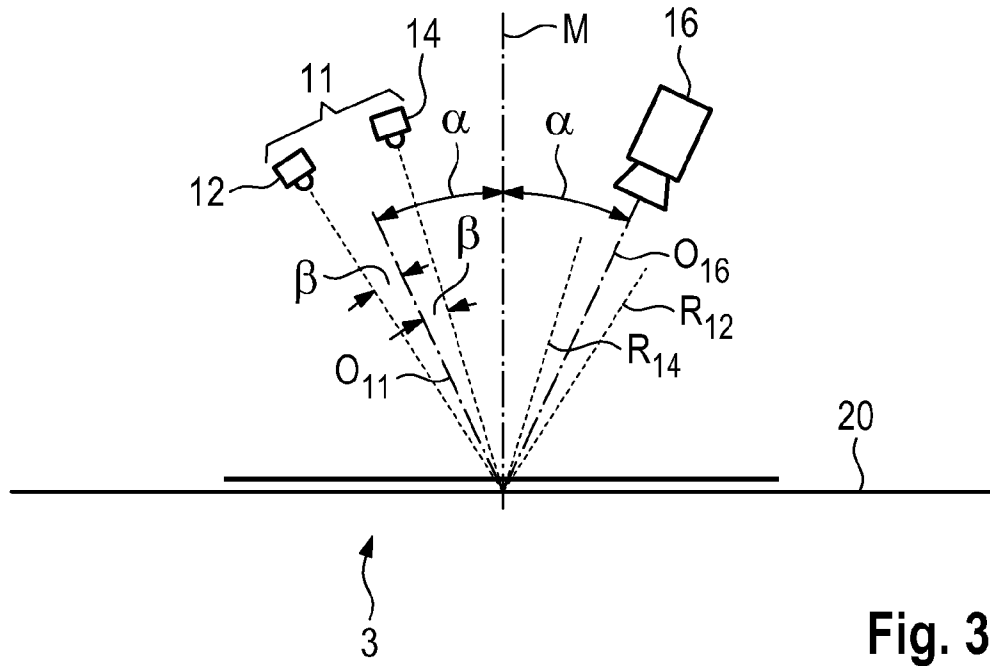


Fig. 2



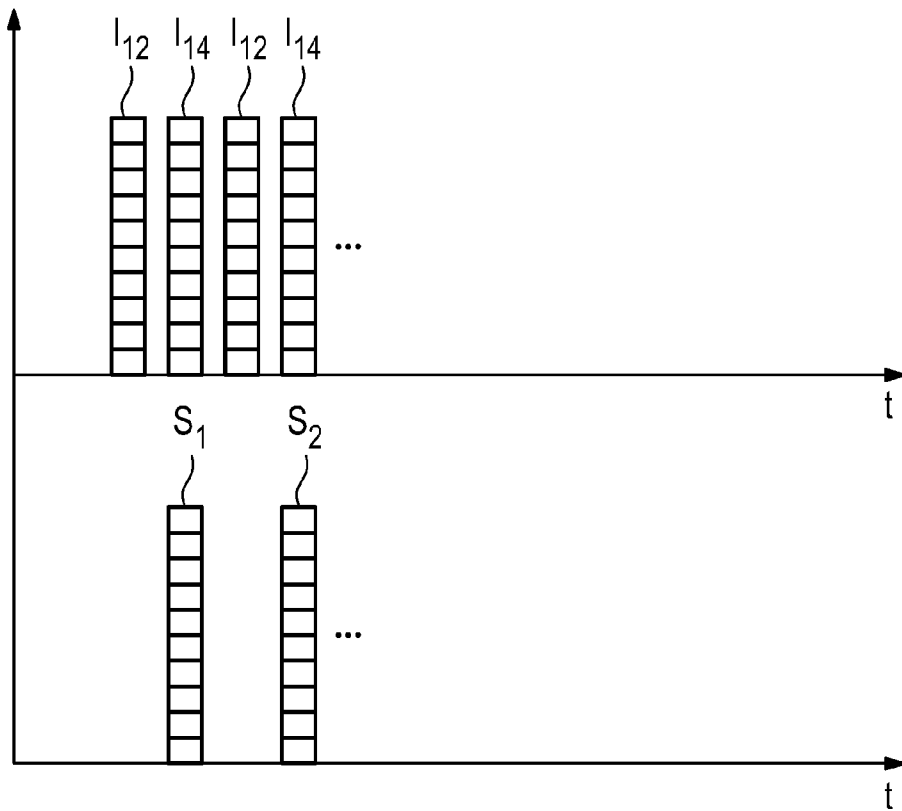


Fig. 5

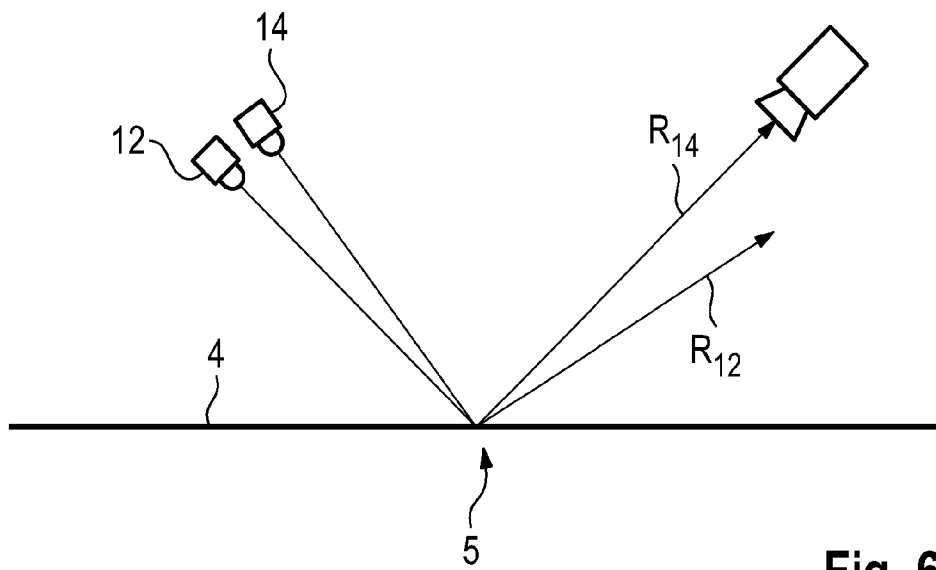


Fig. 6

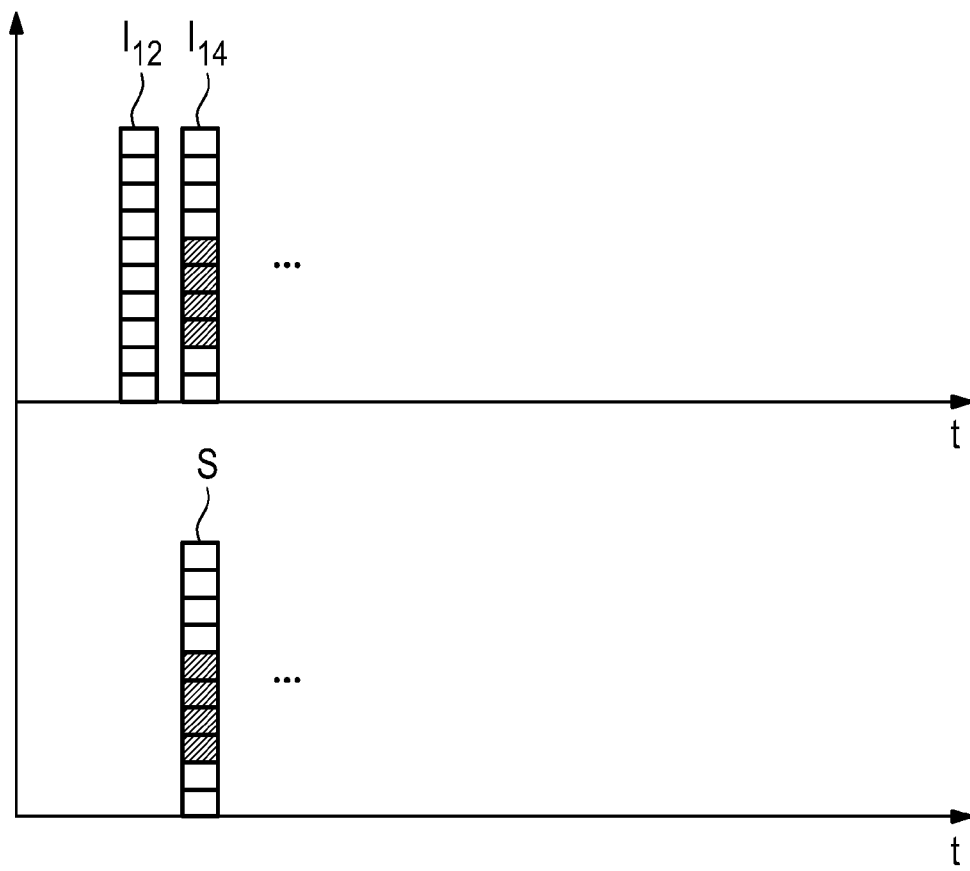


Fig. 7

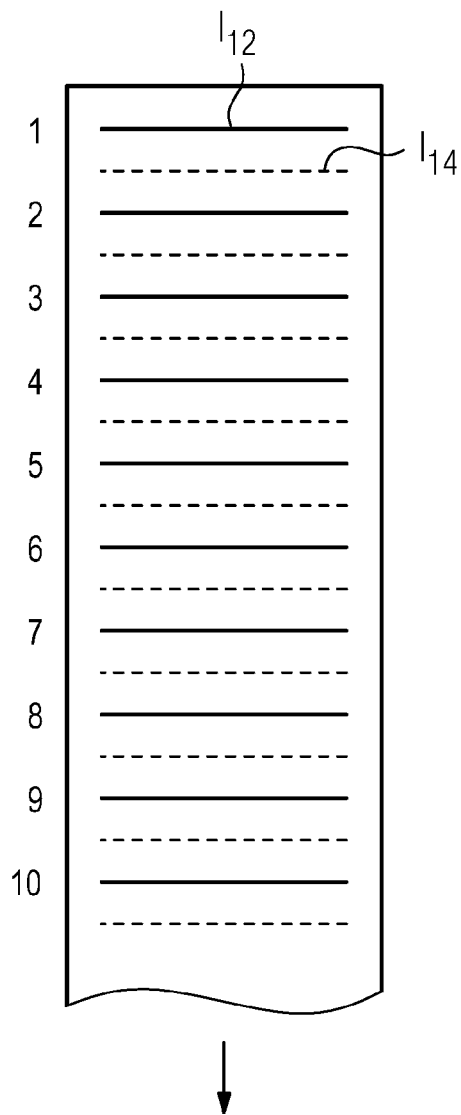


Fig. 8

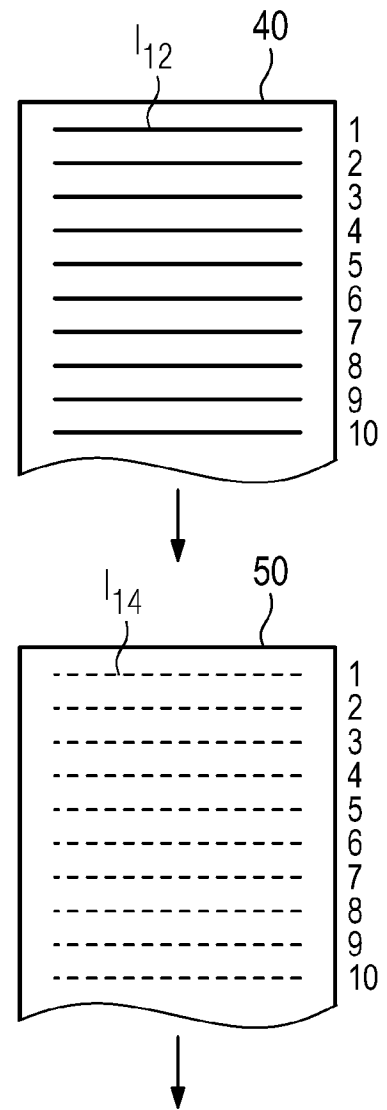


Fig. 9