

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 677**

51 Int. Cl.:

G01B 11/25 (2006.01)

G01S 17/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2007** **E 07120778 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2017** **EP 2063220**

54 Título: **Triangulación óptica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.09.2017

73 Titular/es:

SICK IVP AB (100.0%)
Wallenbergs gata 4
583 35 Linköping, SE

72 Inventor/es:

JOHANNESSON, MATTIAS;
TURBELL, HENRIK y
BENDERIUS, BJÖRN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 634 677 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

Triangulación óptica

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación de la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes de medición. El volumen espacio-temporal de las imágenes de medición es generado mediante un procedimiento de medición que utiliza un sistema de medición que comprende una primera fuente de luz y un sensor. El procedimiento de medición comprende una etapa de, en un estado de funcionamiento predeterminado del sistema de medición, mover un objeto de medición a lo largo de una primera dirección de movimiento con relación al sistema de medición mientras la primera fuente de luz ilumina el objeto de medición, de manera que el sensor genera una imagen de medición del objeto de medición en cada instante de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes, generando de esta manera el volumen espacio-temporal de imágenes de medición en las que un punto característico del objeto de medición corresponde a una trayectoria en el volumen espacio-temporal.

15 La presente invención se refiere además a un procedimiento de determinación de las características de un objeto de medición por medio de un sistema de medición que comprende una primera fuente de luz y un sensor.

Además, la presente invención se refiere a un producto de programa de ordenador, a una unidad de control electrónico y/o a un sistema de medición adaptados para ejecutar uno cualquiera de los procedimientos anteriores.

Antecedentes de la invención

20 En la actualidad, los procedimientos ópticos se usan ampliamente para medir o determinar características de objetos y, en particular, para medir los contornos tridimensionales de los objetos. Un procedimiento óptico preferido es el denominado procedimiento de triangulación óptica en el que el objeto a medir es movido con relación a un sistema de medición que incluye una fuente de luz y un sensor. Opcionalmente, el objeto es estacionario y el sistema de medición se mueve con relación al objeto. Además, la óptica está situada generalmente entre el sensor y el objeto para enfocar la luz reflejada desde el objeto sobre el sensor. La fuente de luz, el objeto y el sensor están situados a una distancia entre sí, de manera que cada uno forma una esquina de un triángulo imaginario, de ahí el nombre de triangulación óptica. Durante cada instante de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes, el sensor genera una imagen del objeto en base a la luz que emana desde la fuente de luz y es reflejada desde el objeto, generando de esta manera un conjunto de imágenes. Cada imagen está constituida generalmente por un conjunto de píxeles dispuestos en una matriz que tiene filas y columnas, en la que cada columna corresponde generalmente a una dirección perpendicular a una dirección en la que el objeto es movido con relación al sistema de medición. A continuación, se crea una imagen tridimensional del objeto mediante un análisis de las intensidades de luz en el conjunto de imágenes.

35 Originalmente, el análisis indicado anteriormente se limitaba a escanear cada una de las imágenes generadas buscando picos en las intensidades de luz y a generar una imagen tridimensional del objeto en base a las posiciones de los picos de intensidad, es decir, en qué imagen y en qué parte de la imagen se produce cada pico. Sin embargo, puede demostrarse que el análisis indicado anteriormente proporciona una imagen tridimensional correcta del objeto sólo cuando el objeto es perfectamente plano y tiene una reflectividad uniforme.

40 Debido a que un procedimiento de creación de una imagen tridimensional de un objeto que usa la suposición de que el objeto es perfectamente plano parece bastante contradictorio, se han propuesto mejoras del procedimiento de triangulación óptica original.

45 Un procedimiento mejorado de interés para la presente invención se describe en un artículo de B. Curless y M. Levoy, concretamente, "Better Optical Triangulation through Spacetime Analysis" en IEEE International Conference on Computer Vision, páginas 987 - 994, Universidad de Stanford, Junio de 1995. El artículo indicado anteriormente describe un procedimiento de triangulación óptica en el que se generan imágenes espacio-temporales para cada columna de un conjunto de imágenes. Tal como se ha indicado anteriormente, cada imagen tiene una dimensión de fila y una dimensión de columna; por lo tanto, cada columna espacio-temporal tiene una dimensión de fila y una dimensión de tiempo. Cabe señalar que si se ensamblaran las imágenes espacio-temporales para todas las columnas, se obtendría un volumen espacio-temporal con una dimensión de columna, una dimensión de fila y una dimensión de tiempo.

50 Según su resumen, el documento de K. Pulli et al: "Acquisition and visualization of colored 3D objects", Proc. Int. Conf. On Pattern Recognition, vol. 1, páginas 11 – 15, Agosto de 1998; XP10297445, describe un sistema para escanear la geometría y el color de la superficie de un objeto 3D y para visualizar imágenes realistas del objeto desde puntos de vista arbitrarios.

Además, el documento de K. Pulli, L.G. Shapiro: "Surface recognition and display from range and color data", Graphical Models, vol. 62, nº 3, páginas 165 - 201, Mayo de 2000; XP976105, describe un sistema completo que utiliza una configuración de cámara estéreo con iluminación activa para escanear la geometría y el color de la superficie del objeto.

- 5 Además, el documento de J. Davis y otros: "Spacetime stereo: A unifying framework for depth from triangulation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, nº 2, páginas 296 - 302, Febrero de 2005; XP11124285, describe un marco de escaneo denominado estéreo espacio-temporal.

10 El documento de B. Curless et. al. enseña además que puede obtenerse una imagen tridimensional mejorada mediante un procedimiento de escaneo que comprende las etapas de girar un ángulo predeterminado cada imagen espacio-temporal, cuyo ángulo se denomina generalmente ángulo espacio-temporal, antes de escanear cada fila en la imagen espacio-temporal girada en busca de picos de intensidad de luz. La posición de los picos, tanto en la dimensión de fila como en la de tiempo, es girada de nuevo a continuación a las coordenadas originales. Opcionalmente, el procedimiento de escaneo anterior puede describirse como un análisis de la intensidad de la luz a lo largo de trayectorias en cada imagen espacio-temporal, cuyas trayectorias se supone típicamente que son líneas rectas inclinadas por el ángulo espacio-temporal.

15

Según B. Curless et. al., el procedimiento de escaneo descrito anteriormente en la presente memoria permite un procedimiento de generación de imágenes tridimensionales que es más robusto que el procedimiento original. Por ejemplo, el procedimiento de escaneo es menos sensible a las variaciones en las propiedades de reflexión del objeto. Además, puede obtenerse una imagen más correcta de las esquinas afiladas y/o los puntos extremos de un objeto cuando se usa un procedimiento de triangulación óptica que incluye el procedimiento de escaneo indicado anteriormente que cuando se usa el procedimiento original.

20

El documento de B. Curless et. al. enseña además que el ángulo predeterminado en el que debería girarse la imagen espacio-temporal puede ser calculado analíticamente en base a una fórmula que tiene, entre otros, la relación geométrica y óptica entre el sensor y el objeto, así como el movimiento del objeto como entrada.

- 25 Sin embargo, al derivar la fórmula indicada anteriormente para el ángulo espacio-temporal, se requieren algunas suposiciones, por ejemplo, que el sensor es ortográfico y que el objeto se mueve con una velocidad constante con relación al sistema de medición durante la ejecución del procedimiento de triangulación óptica.

Además, el ángulo espacio-temporal derivado analíticamente no tiene en cuenta efectos secundarios, tales como reflexiones secundarias y/o imperfecciones de la óptica conectadas generalmente al sensor.

- 30 Tal como puede deducirse de lo indicado anteriormente, existe una necesidad de mejorar el procedimiento de obtención de trayectorias de intensidad de luz en una imagen espacio-temporal o, más generalmente, en un volumen espacio-temporal, cuyo procedimiento no se basa en las suposiciones limitativas en el documento de B Curless et al. y/o cuyo procedimiento está adaptado para tener en cuenta efectos secundarios y/o cuyo procedimiento permite que un procedimiento de triangulación óptica, utilizando las trayectorias obtenidas, pueda usar una velocidad variable, es decir, no constante, del objeto con relación al sistema de medición.
- 35

Sumario de la invención

Un primer objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para determinar la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes, en el que se tengan en cuenta ciertos efectos secundarios.

- 40 Un segundo objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento de determinación de la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes, que no requiera que el sensor sea ortográfico.

Un tercer objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para determinar la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes, que no requiera que un procedimiento de triangulación óptica, utilizando la extensión de trayectoria, mueva un objeto y/o un sistema de medición a una velocidad constante, o incluso conocida, al generar un volumen espacio-temporal de imágenes del objeto.

45

Al menos uno de los objetivos indicados anteriormente se consigue mediante un procedimiento de determinación de la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes según la reivindicación 1.

- De esta manera, la invención se refiere a un procedimiento de determinación de la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes de medición. El volumen espacio-temporal de las imágenes de medición es generado mediante un procedimiento de medición que utiliza un sistema de medición que comprende una primera fuente de luz y un sensor. El procedimiento de medición comprende una etapa de, en un estado de
- 50

funcionamiento predeterminado del sistema de medición, mover un objeto de medición a lo largo de una primera dirección de movimiento con relación al sistema de medición mientras la primera fuente de luz ilumina el objeto de medición, de manera que el sensor genera una imagen de medición del objeto de medición en cada instante de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes, generando de esta manera el volumen espacio-temporal de imágenes de medición en el que un punto característico del objeto de medición corresponde a una trayectoria en el volumen espacio-temporal.

Según la invención, en el estado de funcionamiento predeterminado del sistema de medición, el procedimiento para determinar la extensión comprende las etapas de:

- mover un objeto de referencia a lo largo de la primera dirección de movimiento con relación al sistema de medición mientras se ilumina el objeto de referencia con luz incidente, de manera que el sensor genere una imagen de referencia del objeto de referencia en cada instante en un conjunto de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes, y
- determinar la extensión en base a las imágenes de referencia.

De esta manera, lo que propone la presente invención es que la extensión de una trayectoria en un volumen espacio-temporal de imágenes de medición puede establecerse mediante un procedimiento de determinación, o un procedimiento de calibración, que es similar al procedimiento de medición para generar las imágenes de medición del objeto de medición.

De esta manera, en lugar de derivar una nueva fórmula para el ángulo espacio-temporal de la trayectoria, la extensión de la trayectoria es determinada en base a los datos registrados por el sistema de medición. Este enfoque permite una gran flexibilidad en el procedimiento de determinación, es decir, la extensión de la trayectoria puede ser determinada en base a uno o varios criterios especificados por un usuario. Además, el procedimiento de determinación según lo indicado anteriormente es capaz, al menos implícitamente, de tener en cuenta efectos secundarios.

Según una realización del procedimiento de determinación de la invención, la trayectoria está constituida por un conjunto de sub-trayectorias, en el que cada sub-trayectoria está dentro de un sub-volumen limitado del volumen espacio-temporal. Además, se supone que el objeto de referencia tiene una dimensión transversal de objeto que es sustancialmente perpendicular a la primera dirección de movimiento y se supone además que el objeto de referencia tiene además una dimensión vertical de objeto que es sustancialmente perpendicular a la primera dirección de movimiento y a la dimensión transversal del objeto. El procedimiento comprende las etapas de:

- a) definir un conjunto de regiones del objeto de referencia, en el que cada región tiene un punto central, en el que el punto central de cada región en el conjunto está situado a una distancia en la dimensión transversal del objeto y/o la dimensión vertical del objeto desde los puntos centrales de las otras regiones en el conjunto;
- b) para cada región en el conjunto de regiones, determinar la extensión de una sub-trayectoria correspondiente y
- c) ensamblar las sub-trayectorias para formar la trayectoria.

Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, el sensor tiene una dimensión longitudinal de sensor y una dimensión transversal de sensor, en el que la dimensión transversal de sensor es sustancialmente perpendicular a la primera dirección de movimiento. Además, una imagen de medición generada por el sensor tiene una dimensión longitudinal de imagen y una dimensión transversal de imagen correspondiente a la dimensión longitudinal de sensor y la dimensión transversal de sensor respectivamente, de manera que el volumen espacio-temporal tiene tres dimensiones: la dimensión longitudinal de sensor; la dimensión transversal de sensor y una dimensión temporal. Se supone que la extensión de la trayectoria o sub-trayectoria, es una línea recta y la extensión de la línea se define por una inclinación con respecto a un primer eje de rotación en un primer ángulo y con respecto a un segundo eje de rotación en un segundo ángulo, en el que el primer eje de rotación es paralelo a la dimensión transversal de la imagen y el segundo eje de rotación es paralelo a la dimensión longitudinal de la imagen.

La suposición de que la trayectoria se extiende a lo largo de una línea recta simplifica la determinación de la extensión de la trayectoria ya que entonces el procedimiento de determinación se reduce a determinar los ángulos primero y segundo. En muchos casos, las trayectorias en un volumen espacio-temporal pueden ser aproximadas por líneas rectas sin afectar a la calidad del resultado final, por lo tanto, la realización anterior permite un procedimiento eficiente pero apropiado para determinar las extensiones de las trayectorias. Además, la

aproximación de cada sub-trayectoria de una trayectoria mediante una línea recta puede proporcionar un procedimiento de aproximación eficiente de la extensión de la trayectoria en diferentes partes del volumen espacio-temporal.

5 Según otra realización del procedimiento de determinación de la invención, se supone que el segundo ángulo es cero. Esta suposición simplifica adicionalmente la determinación de la extensión de la trayectoria ya que el procedimiento de determinación puede limitarse a encontrar una trayectoria en un conjunto de imágenes espacio-temporales en lugar de en el volumen espacio-temporal completo.

Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, el objeto de referencia es el mismo que el objeto de medición.

10 Según otra realización del procedimiento de determinación de la invención, las imágenes de referencia forman un volumen espacio-temporal de imágenes de referencia idéntico al volumen espacio-temporal de las imágenes de medición. De esta manera, en lugar de realizar la determinación de la extensión de la trayectoria en una etapa separada antes de la medición, la determinación puede ser realizada en base a las imágenes espacio-temporales de medición. Esta realización permite una pluralidad de ventajas. Por ejemplo, la combinación del procedimiento de determinación y el procedimiento de medición con un solo procedimiento reduce el tiempo necesario para obtener una medición completa. Además, pueden realizarse dos mediciones subsiguientes utilizando diferentes estados de funcionamiento de un sistema de medición sin necesidad de realizar una etapa de calibración o de determinación intermedia entre las mediciones.

20 Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, el objeto de referencia comprende una primera parte y una segunda parte, en el que la primera parte y la segunda parte tienen propiedades de reflectancia diferentes.

Según otra realización del procedimiento de determinación de la invención, el procedimiento comprende una etapa de determinar una medida de la cantidad de artefactos en una imagen tridimensional del objeto de referencia generado a partir de las imágenes de referencia, en el que el procedimiento comprende además las etapas de:

- 25 a) suponer una extensión de la trayectoria, y
b) determinar la medida de la cantidad de artefactos cuando se usa la extensión supuesta,

en el que las etapas a) y b) se repiten hasta que la medida esté por debajo de un valor umbral predeterminado o se haya alcanzado un mínimo.

30 De esta manera, el procedimiento de determinación anterior reduce preferiblemente la cantidad de artefactos sin requerir necesariamente información acerca del origen de los artefactos. De esta manera, los artefactos pueden derivarse de una pluralidad de fenómenos, que incluyen, pero no se limitan a: variaciones de reflexión del objeto; variaciones en la geometría del objeto; reflexiones secundarias o imperfecciones de la óptica. Los artefactos pueden derivarse incluso de una combinación de una pluralidad de los fenómenos anteriores. Sin embargo, independientemente del origen de los artefactos, el procedimiento anterior determina la extensión de la trayectoria para la que los artefactos se reducen, preferiblemente se minimizan. Naturalmente, esto eventualmente permite un procedimiento flexible de obtención de datos de medición apropiados, en imágenes tridimensionales particularmente apropiadas de objetos.

40 Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, la medida de la cantidad de artefactos se determina calculando una varianza de valores de perfil de altura calculados en la imagen tridimensional del objeto de referencia.

Según otra realización del procedimiento de determinación de la invención, el procedimiento comprende una etapa de formación de un volumen espacio-temporal de referencia de las imágenes de referencia, en el que el procedimiento comprende además las etapas de:

- 45 a) suponer una extensión de la trayectoria;
b) analizar una distribución de intensidades de luz a lo largo de la extensión de la trayectoria supuesta en el volumen espacio-temporal de referencia y estimar un centro y una relación de simetría de la distribución, en el que una distribución que tiene una baja relación de simetría es más simétrica con respecto al centro que una distribución que tiene una relación de simetría mayor,

50 en el que las etapas a) y b) se repiten hasta que la relación de simetría esté por debajo de un valor umbral predeterminado o se haya alcanzado un mínimo.

De manera similar a la realización de reducción de artefactos descrita anteriormente, el procedimiento de determinación anterior puede determinar las extensiones de las características sin requerir necesariamente información previa acerca del estado de funcionamiento del sistema de medición o cualquier posible fenómeno generador de artefactos del objeto y/o del sistema de medición.

5 Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, la etapa de estimar una relación de simetría de la distribución comprende una etapa de comparar el valor de intensidad de luz en dos puntos de trayectoria, en el que los puntos de trayectoria están situados a una distancia predeterminada desde cada lado del centro de la distribución de la intensidad de luz a lo largo de la trayectoria asumida, y la relación de simetría se determina en base a la diferencia entre las intensidades de luz en los dos puntos de trayectoria.

10 Según otra realización del procedimiento de determinación de la invención, la luz incidente tiene una región con luz sustancialmente homogénea, en el que el procedimiento comprende además una etapa de medición de un movimiento aparente de al menos un punto característico en las imágenes de referencia, en el que la extensión de la trayectoria es estimada realizando un seguimiento del punto característico a través de las imágenes de referencia.

15 De esta manera, usando un procedimiento de estimación de movimiento, se obtiene un procedimiento directo de determinación de extensión de trayectoria. El procedimiento presentado anteriormente tiene también la ventaja de que pueden determinarse fácilmente trayectorias diferentes para diferentes áreas de las imágenes de medición. Además, el procedimiento anterior puede ser usado preferiblemente para determinar trayectorias que no son lineales. Por el contrario, el procedimiento puede determinar una extensión arbitraria de la trayectoria, por ejemplo, una extensión curvada. Obviamente, esto permite una mejora adicional de la calidad de los datos de medición generados finalmente.

20 Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, el objeto de referencia comprende una parte con grandes variaciones de contraste en el campo visual del sensor.

25 Según otra realización del procedimiento de determinación de la invención, la parte comprende una estructura especular, con el fin de facilitar la medición del movimiento aparente.

Según una realización adicional del procedimiento de determinación de la invención, la estimación de movimiento se realiza utilizando filtros en cuadratura.

30 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un procedimiento de determinación de las características de un objeto de medición por medio de un sistema de medición que comprende una primera fuente de luz y un sensor. El procedimiento comprende una etapa de mover el objeto de medición a lo largo de una primera dirección de movimiento con relación al sistema de medición mientras la primera fuente de luz ilumina el objeto, de manera que el sensor genera una imagen de medición del objeto en cada instante de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes, generando de esta manera dicho volumen espacio-temporal de imágenes de medición. El procedimiento comprende además una etapa de identificación de un punto característico del objeto de medición mediante la determinación de una posición de pico en la intensidad de la luz reflejada a lo largo de una trayectoria en el volumen espacio-temporal, en el que la extensión de la trayectoria es determinada usando uno cualquiera de los procedimientos de determinación anteriores.

35 Según una realización del segundo aspecto de la invención, la etapa de determinación de la posición del pico en la intensidad de la luz que emana desde el objeto es ejecutada estimando una distribución de intensidades de luz a lo largo de la trayectoria, en el que el pico es determinado estimando el centro de gravedad de la distribución de la intensidad de luz.

40 Según otra realización del segundo aspecto de la invención, el procedimiento de determinación de la extensión de la trayectoria, así como el procedimiento de determinación de las características del objeto de medición, se realizan utilizando los resultados de la misma ejecución del sistema de medición.

45 Según una realización adicional del segundo aspecto de la invención, las características a determinar por el procedimiento comprenden el contorno tridimensional del objeto de medición.

50 Un tercer aspecto de la invención se refiere a un producto de programa de ordenador que comprende un programa de ordenador que contiene código de programa de ordenador ejecutable en un ordenador o un procesador para implementar las etapas de cualquiera de los procedimientos anteriores, en el que el producto está almacenado en un medio legible por ordenador o una onda portadora.

Un cuarto aspecto de la invención se refiere a una unidad de control electrónico que comprende un producto de programa de ordenador según lo indicado anteriormente y dispuesto para ejecutar un procedimiento de

determinación de extensión de trayectoria según lo indicado anteriormente y/o un procedimiento de determinación de características según lo indicado anteriormente.

Un quinto aspecto de la invención se refiere a un sistema de medición que comprende una primera fuente de luz, un sensor y una unidad de control electrónico según lo indicado anteriormente.

5 Según una realización del quinto aspecto de la invención, el sistema de medición comprende además una segunda fuente de luz y la primera fuente de luz está adaptada para generar una región con luz sustancialmente homogénea.

10 Según otra realización del quinto aspecto de la invención, el sensor está adaptado para generar dos sub-imágenes simultáneamente, en el que una sub-imagen está adaptada para ser usada en el procedimiento de determinación de las características del objeto de medición según lo indicado anteriormente y en el que la segunda sub-imagen está adaptada para ser usada en el procedimiento de determinación de la extensión de una trayectoria según lo indicado anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

15 A continuación, la presente invención se explicará adicionalmente mediante ejemplos no limitativos, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La Fig. 1 es una vista esquemática en perspectiva de un sistema de medición adaptado para realizar un procedimiento de triangulación óptica;

Las Figs. 2A - 2C son una vista esquemática de los resultados obtenidos a partir de un procedimiento de triangulación óptica utilizando el sistema de medición de la Fig. 1;

20 La Fig. 3 es una vista esquemática bidimensional del sistema de medición de la Fig. 1 cuando mide un objeto de medición estrecho;

Las Figs. 4A - 4D son resultados bidimensionales a partir de la medición ilustrada en la Fig. 3;

Las Figs. 5A - 5C ilustran un procedimiento de determinación de extensión según una primera realización de la invención;

25 La Fig. 6 ilustra un procedimiento de determinación de extensión según una segunda realización de la invención, y

La Fig. 7 es una vista esquemática en perspectiva de un sistema de medición adaptado para ejecutar una tercera realización del procedimiento de determinación de extensión.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 La invención se ejemplificará a continuación mediante realizaciones. Sin embargo, debería entenderse que las realizaciones se incluyen con el fin de explicar los principios de la invención y no limitar el alcance de la invención, definido por las reivindicaciones adjuntas.

35 La Fig. 1 ilustra un sistema 10 de medición adaptado para realizar un procedimiento de triangulación óptica. El sistema 10 comprende una primera fuente 12 de luz y un sensor 14. La primera fuente 12 de luz está adaptada para iluminar un objeto 16 de medición con luz 18 incidente. El sensor 14 está adaptado para detectar la luz 20 reflejada desde el objeto 16 de medición y generar imágenes en base a la luz 20 reflejada. Además, el sistema 10 comprende preferiblemente una óptica 22, adaptada para ser situada entre el sensor 14 y el objeto 16 de medición. La óptica 22 se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1 como una sola lente. Sin embargo, por supuesto, otras disposiciones ópticas son factibles. Además, el sistema de medición está provisto preferiblemente de una unidad 24 de control electrónico adaptada para almacenar y/o analizar las imágenes registradas por el sensor 14. 40 Preferiblemente, el sistema comprende también medios 26 de visualización, por ejemplo, un dispositivo de visualización, adaptado para mostrar las imágenes registradas y/o las imágenes generadas por la unidad 24 de control electrónico. En la Fig. 1 se ilustra además un sistema de coordenadas global que tiene una dimensión X, Y y Z, respectivamente.

45 Tal como puede deducirse a partir de la Fig. 1, la luz 18 incidente y la luz 20 de la imagen reflejada forman un ángulo α . Este ángulo α se denomina generalmente ángulo de triangulación.

La primera fuente 12 de luz está preferiblemente adaptada para generar luz estructurada, por ejemplo, luz lineal o luz compuesta de múltiples segmentos, sustancialmente puntuales o lineales, y puede ser de cualquier tipo adecuado para la aplicación, por ejemplo, un láser, un diodo emisor de luz (LED), luz ordinaria (bombilla), etc., que

son familiares para la persona con conocimientos en la materia y no se describirán adicionalmente en la presente memoria.

5 Durante el funcionamiento, el objeto 16 de medición se mueve a lo largo de una primera dirección de movimiento, que es la dirección Y en la Fig. 1, con relación al sistema 10 de medición. Con este fin, el objeto 16 de medición puede ser colocado, por ejemplo, sobre una cinta transportadora (no mostrada) o cualquier disposición similar. Opcionalmente, el objeto 16 de medición puede ser estacionario y, por el contrario, el sistema 10 de medición está adaptado para moverse con relación al objeto 16 de medición. Naturalmente, también son posibles combinaciones de las dos alternativas anteriores.

10 Durante el movimiento relativo del objeto 16 de medición con respecto al sistema 10, la primera fuente 12 de luz ilumina el objeto 16 de medición de manera que el sensor 14 genere una imagen de medición del objeto 16 de medición en cada instante t_i de tiempo en un conjunto T de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes.

15 Preferiblemente, el sensor 14 es un sensor CMOS, pero una persona con conocimientos en la materia apreciará que la invención puede aplicarse a otros tipos de sensores, tales como sensores CCD o cualquier otro sensor adecuado para generar imágenes de un objeto, en base a la luz reflejada desde el mismo. Tal como puede deducirse a partir de la Fig. 1, el sensor tiene preferiblemente una dimensión v_s longitudinal de sensor y una dimensión u_s transversal de sensor. La dimensión u_s transversal de sensor es preferiblemente sustancialmente perpendicular a la primera dirección de movimiento Y.

20 Las variantes del sistema 10 de medición pueden comprender, por supuesto, sensores adicionales (no mostrados) y/o fuentes de luz adicionales (no mostradas). Puramente a modo de ejemplo, estos sensores y/o fuentes de luz adicionales pueden ser usados para reducir el problema de oclusión.

25 Una imagen de medición generada por el sensor tiene preferiblemente una dimensión v_i longitudinal de imagen y una dimensión u_i transversal de imagen correspondientes a la dimensión v_s longitudinal de sensor y la dimensión u_s transversal de sensor, respectivamente. En la práctica, el sensor 14 comprende generalmente una matriz con $n \times m$ píxeles, donde n corresponde a los píxeles en la dimensión v_s longitudinal de sensor, es decir, las filas, y m corresponde a los píxeles en la dimensión u_s transversal de sensor, es decir, las columnas.

30 Puede considerarse que cada objeto 16 de medición tiene un contorno tridimensional formado por una pluralidad de puntos característicos. En la Fig. 1 sólo se indica un punto 28 característico, pero cada lado del objeto 16 de medición en la Fig. 1 está constituido por una pluralidad, teóricamente en realidad infinita, de puntos característicos. De esta manera, si se determina la información de la posición tridimensional de cada punto 28 característico, es decir, las coordenadas (X, Y, Z) de los puntos característicos, puede generarse una imagen tridimensional del objeto 16 de medición simplemente ensamblando la información geométrica para todo el conjunto de puntos característicos. Cabe señalar que también puede ser posible determinar otras características de cada punto característico además de la mera ubicación del punto. Dichas características pueden incluir, pero no se limitan a, propiedades de reflectancia y/o de dispersión de luz.

35 Las Figs. 2A - 2C ilustran un conjunto de imágenes de medición generadas por el sistema 10 de medición ilustrado en la Fig. 1 en cada instante t_i de tiempo en un conjunto T de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes. Tal como puede deducirse, el conjunto de imágenes en la Fig. 2 está constituido por cuatro imágenes $IM_0 - IM_3$ correspondientes a cuatro instantes $t_0 - t_3$ de tiempo. La Fig. 2 ilustra además que las imágenes $IM_0 - IM_3$ han sido apiladas unas sobre otras, formando de esta manera un volumen V_m espacio-temporal de las imágenes de medición. Cada una de las imágenes $IM_0 - IM_3$ en la Fig. 2 tiene una dimensión u_i transversal de imagen y una dimensión v_i longitudinal de imagen, por lo tanto, el volumen V_m espacio-temporal ilustrado en la Fig. 2 tiene tres dimensiones, siendo la dimensión temporal la tercera dimensión.

40 Debido a que el objeto 16 de medición se mueve con relación al sistema 10 de medición durante la generación de las imágenes $IM_0 - IM_3$ de medición, un punto 28 característico del objeto 16 de medición será asignado a una trayectoria R en el volumen V_m espacio-temporal.

45 De esta manera, en cada uno de los instantes $t_0 - t_3$ de tiempo en el que el punto 28 característico está en el campo de visión del sensor 14, la luz 20 reflejada desde el punto 28 característico incidirá en un punto sobre el sensor 14. La ubicación del punto en el que la luz 20 reflejada incide sobre el sensor, así como la magnitud de la intensidad de la luz 20 reflejada, depende, por ejemplo, de la distancia relativa entre el objeto 16 de medición, el sensor 14 y la primera fuente 12 de luz. De esta manera, una vez identificada la intensidad de luz máxima, es decir, el pico de la intensidad de luz, a lo largo de la trayectoria R, las coordenadas del pico en el sistema de coordenadas (u_i, v_i, t) revelará información acerca de, entre otros, la ubicación del punto 28 característico en el sistema de coordenadas (X, Y, Z).

En términos generales, el valor de tiempo del pico proporcionará información acerca de la coordenada Y, el valor u_i proporcionará información acerca de la coordenada X y el valor v_i proporcionará información acerca de la coordenada Z del punto 28 característico.

5 Tal como puede deducirse a partir de la Fig. 2, la extensión de la trayectoria R depende de la velocidad con la que el objeto 16 de medición se mueve con relación al sistema 10 de medición. De esta manera, si la velocidad indicada anteriormente es cero, es decir, si el objeto 16 de medición está estacionario con relación al sistema 10 de medición, la extensión de la trayectoria R sería paralela al eje de tiempos. Por otra parte, si el objeto 16 de medición se mueve con una velocidad alta, infinita, con relación al sistema 10 de medición, la extensión de la trayectoria R estaría solo en el plano u_i - v_i .

10 La extensión de la trayectoria R puede ser aproximada en una pluralidad de maneras. Una manera sencilla es aproximar la trayectoria R mediante una línea recta, cuya extensión está definida por una inclinación con respecto a un primer eje de rotación en un primer ángulo y con respecto a un segundo eje de rotación en un segundo ángulo. Esto se ilustra en la Fig. 2B y la Fig. 2C, respectivamente, en las que la Fig. 2B ilustra que el primer ángulo θ_{ST} se define aquí como una rotación alrededor de un primer eje de rotación que es paralelo a la dimensión u_i transversal de imagen y en las que la Fig. 2C ilustra que el segundo ángulo θ_{STU} se define aquí como una rotación
15 alrededor de un segundo eje de rotación que es paralelo a la dimensión v_i longitudinal de imagen. En el estudio de las diversas realizaciones del procedimiento de determinación de extensión de trayectoria según la invención, debería tenerse en cuenta que la aproximación mediante una línea recta de la trayectoria R es apropiada para todas las realizaciones. Sin embargo, cabe señalar también que cada una de las realizaciones es también muy
20 adecuada para ser usada con otras aproximaciones de extensión de trayectoria, tales como, por ejemplo, una extensión parabólica.

Con relación ahora a la Fig. 3, con el fin de simplificar una explicación de los beneficios del uso del análisis espacio-temporal, se presenta una versión bidimensional del sistema 10 de medición cuando se mide un objeto 16 de medición estrecho, que en la Fig. 3 es un objeto 16 de medición, idealizado en la forma de una línea que tiene una extensión sólo en una dirección. En la Fig. 3, el objeto 16 de medición se extiende en la dirección Y. El sistema
25 10 de medición funciona tal como se ha presentado anteriormente, en el que el sensor 14 genera una imagen de medición del objeto 16 de medición en cada instante t_i de tiempo en un conjunto T de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes. Generalmente, las imágenes de medición forman un volumen V_m espacio-temporal de imágenes de medición, pero debido a que el sistema 10 de medición de la Fig. 3 ha sido reducido a un sistema
30 bidimensional, cada imagen de medición es aquí una imagen unidimensional; por lo tanto, las imágenes de medición en este caso forman una imagen I_m espacio-temporal, que se ilustra en la Fig. 4A.

La Fig. 4A ilustra además dos trayectorias O y S, respectivamente, a lo largo de cuyas trayectorias se buscan picos de intensidad de luz. Tal como puede observarse a partir de la Fig. 4A, la primera trayectoria O corresponde al análisis original de las imágenes de medición obtenidas a partir de un procedimiento de triangulación óptica, en
35 el que en cada fila en la imagen I_m espacio-temporal se realiza una búsqueda de picos de intensidad de luz. La segunda trayectoria S corresponde a un análisis espacio-temporal de las imágenes de medición.

La Fig. 4B ilustra la imagen resultante, es decir, la imagen del objeto 16 de medición en las coordenadas Y, Z, cuando se utiliza la primera trayectoria O. Tal como puede deducirse a partir de la Fig. 4B, la imagen resultante presenta representaciones incorrectas de las partes 16A y 16B de extremo primera y segunda del objeto 16 de
40 medición. La razón de esta representación incorrecta podría derivarse generalmente del hecho de que la luz 18 incidente generada por la primera fuente 12 de luz es un haz de luz que tiene una extensión en la dirección Y que es mayor que cero, es decir, la luz 18 incidente nunca incidirá sobre un único punto del objeto 16 de medición, sino más bien un intervalo de los mismos, aunque este intervalo pueda ser estrecho. Naturalmente, debido a que la luz 18 incidente tiene una extensión en la dirección Y, la luz 20 reflejada tendrá también, por consiguiente, una
45 extensión en la dirección Y. La extensión de la luz 18 incidente y la luz 20 reflejada, respectivamente, se indica mediante líneas discontinuas y de puntos en la Fig. 3. De esta manera, cuando la luz 18 incidente está cerca, por ejemplo, de la primera parte 16A de extremo del objeto de medición, sólo una parte de la luz 18 incidente incidirá sobre el objeto 16 de medición mientras que la parte restante de la luz 18 simplemente pasará por la misma. Diferentes fuentes de luz pueden producir haces de luz con diferentes distribuciones de intensidad de luz. Puramente a modo de ejemplo, una fuente de luz puede producir, por ejemplo, un haz de luz que tiene una
50 distribución de intensidad de luz normal (Gaussiana).

Por consiguiente, la luz 20 reflejada desde la primera parte 16A de extremo será sólo una fracción de la luz 20 reflejada desde, por ejemplo, la parte 16C central del objeto 16 de medición. La fracción indicada anteriormente de la luz reflejada generará de esta manera una distribución de intensidad de luz con un pico que tiene una
55 coordenada v_i longitudinal de imagen que no corresponde a la coordenada Z real de la primera parte 16A de extremo. Este efecto no se tiene en cuenta cuando se buscan picos de intensidad de luz en la imagen I_m espacio-

temporal a lo largo de la trayectoria O; por lo tanto, la coordenada Z correspondiente de la imagen resultante de la primera parte 16A de extremo y, por consiguiente, la segunda parte 16B de extremo, diferirá de la correcta.

5 Si, por el contrario, se usa la segunda trayectoria S cuando se buscan picos de intensidad de luz en la imagen I_m espacio-temporal, se captura la reducción gradual de luz 18 incidente que incide sobre el objeto 16 de medición y, por consiguiente, la reducción gradual de la luz 20 reflejada, cuando se aproxima a la primera parte 16A de extremo. De esta manera, un pico en la distribución de intensidad de luz a lo largo de la segunda trayectoria S corresponderá a la coordenada Z correcta de la parte 16A de extremo.

10 En la práctica, en lugar de buscar picos en intensidades de luz a lo largo de la trayectoria S, la imagen I_m espacio-temporal es transformada desde el sistema de coordenadas v_i, t a un sistema de coordenadas v_i', t' de manera que la segunda trayectoria S se extienda a lo largo de la dimensión v_i' , véase la Fig. 4D. A continuación, se buscan picos de intensidad de luz en la imagen I_m espacio-temporal transformada a lo largo de la dimensión v_i' y los picos encontrados de esta manera son transformados de nuevo al sistema de coordenadas v_i, t antes de generar la imagen final en las coordenadas Y, Z.

15 Si se supone que la segunda trayectoria S es una línea recta que está inclinada un ángulo θ con respecto a la dimensión v_i , la imagen I_m espacio-temporal puede ser girada un ángulo $-\theta$ con el fin de obtener una imagen I_m' espacio-temporal transformada, tal como se ilustra en la Fig. 4D. Sin embargo, los inventores de la presente invención han reconocido que, por el contrario, la imagen I_m espacio-temporal puede simplemente ser cortada por el ángulo $-\theta$ mientras todavía se obtienen resultados suficientemente precisos.

20 Tal como puede observarse al estudiar las Figs. 4A - 4D, la determinación de la extensión de la trayectoria R es de gran importancia para obtener una reproducción suficientemente precisa del objeto 16 de medición. Sin embargo, tal como se ha indicado anteriormente, la técnica anterior sólo enseña que la trayectoria R puede ser aproximada mediante una línea recta inclinada un ángulo θ con respecto a la dimensión v_i de la imagen I_m espacio-temporal, en el que el ángulo θ , denotado generalmente ángulo espacio-temporal, puede ser derivado a partir de una expresión analítica.

25 Por el contrario, lo que propone la presente invención es que la trayectoria pueda ser establecida mediante un procedimiento de determinación de extensión de trayectoria que usa datos de medición obtenidos a partir del sistema 10 de medición. El sistema 10 de medición puede ser usado para ejecutar un procedimiento de determinación, o un procedimiento de calibración, de la extensión de la trayectoria en un volumen V_m espacio-temporal de las imágenes de medición. Opcionalmente, las imágenes de medición de un objeto 16 de medición pueden ser procesadas posteriormente para establecer qué trayectoria produce el mejor resultado final.

30 A continuación, se presentarán diversas realizaciones del procedimiento de determinación anterior. Sin embargo, lo que todas las realizaciones tienen en común es que están destinadas a ser usadas para el mismo estado de funcionamiento para el que se genera el volumen V_m espacio-temporal de las imágenes de medición. Además, la invención propone que un objeto 30 de referencia, que sin embargo en algunos casos puede ser el mismo que el objeto 16 de medición, sea medido por el sistema 10 de medición, de manera que se genere un conjunto de imágenes $IR_0 - IR_n$ de referencia. La extensión de la trayectoria se determina entonces en base a las imágenes $IR_0 - IR_n$ de referencia.

35 En las realizaciones siguientes, se presenta la determinación de la extensión de una única trayectoria R. Sin embargo, por supuesto, una cualquiera de las realizaciones puede ser usada para determinar las extensiones de una pluralidad de trayectorias R en el volumen espacio-temporal de las imágenes V_m de medición. Por ejemplo, puede determinarse un conjunto de sub-trayectorias para un volumen espacio-temporal de imágenes V_m de medición en el que cada sub-trayectoria corresponde a un cierto punto 28 característico o un área característica de un objeto 16 de medición. Cada sub-trayectoria es válida para un intervalo limitado a lo largo de al menos una de las dimensiones u_i o v_i y puede generarse una trayectoria R para el volumen V_m espacio-temporal total ensamblando esas sub-trayectorias.

40 Las sub-trayectorias en el volumen espacio-temporal de las imágenes V_m de medición pueden considerarse también como un campo vectorial en el volumen V_m espacio-temporal indicado anteriormente. Si un objeto 16 de medición se mueve con una velocidad constante con relación al sistema 10 de medición, las sub-trayectorias pueden considerarse como un campo vectorial sólo en el plano u_i, v_i , es decir la extensión de una sub-trayectoria correspondiente a una coordenada u_i, v_i específica no cambiará a lo largo de la dimensión t temporal.

45 De esta manera, si un objeto 16 de medición se mueve con una velocidad relativa constante, la extensión de una sub-trayectoria correspondiente a una cierta coordenada u_i, v_i , o incluso a un cierto intervalo en la dimensión u_i y v_i , puede ser representada mediante valores locales de los ángulos $\theta_{ST}, \theta_{STU}$ primero y segundo, cuyos ángulos se han descrito junto con la Fig. 2B y la Fig. 2C. Si los valores locales indicados anteriormente se determinan para

una única coordenada u_i , v_i y se supone que esta coordenada es representativa para todo el objeto 16 de medición, se obtiene un campo vectorial que es constante, es decir, independiente de la coordenada u_i , v_i real. Este enfoque corresponde a la extensión constante de la segunda trayectoria S en la Fig. 4A, es decir, la segunda trayectoria S tiene la misma inclinación θ independientemente del valor a lo largo de la dimensión v_i . En otras palabras, puede considerarse que la segunda trayectoria S en la Fig. 4A está constituida por una única sub-trayectoria.

Sin embargo, los valores locales indicados anteriormente pueden ser determinados también para una pluralidad de puntos que están situados a una distancia entre sí en la dimensión X y/o Z, correspondiendo de esta manera a diferentes puntos en la dimensión u_i y/o v_i . A continuación, puede suponerse que cada uno de estos valores locales es válido en un intervalo que varía en la dimensión u_i y/o v_i . De esta manera, con referencia una vez más al ejemplo bidimensional ilustrado en la Fig. 4A, la imagen I_m espacio-temporal ilustrada en la misma puede dividirse en una pluralidad de franjas que se extienden horizontalmente (no mostradas). A continuación, puede determinarse un ángulo θ espacio-temporal local para cada una de las franjas. Puramente a modo de ejemplo, la coordenada v_i del centro a lo largo de una franja puede ser usada cuando se determina el ángulo θ espacio-temporal local utilizando el procedimiento de determinación de la invención, y se supone que este ángulo θ espacio-temporal local se aplica a lo largo de la franja. De esta manera, en este caso puede considerarse que una trayectoria R de la imagen I_m espacio-temporal está constituida por un conjunto subsiguiente de partes lineales o sub-trayectorias, una parte para cada franja, formando de esta manera una trayectoria R lineal por tramos a lo largo de la dimensión v_i .

Las Figs. 5A - 5C ilustran una primera realización del procedimiento de determinación de la invención. Tal como puede deducirse a partir de la Fig. 5A, el objeto 30 de referencia comprende una primera parte 32 y una segunda parte 34, en el que la primera parte 32 y la segunda parte 34 tienen propiedades de reflectancia diferentes. Tal como se usa en la presente memoria, la expresión "propiedad de reflectancia" se refiere a una medida de la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. Generalmente, la "propiedad de reflectancia" depende, entre otras cosas, de la dirección de la luz reflejada, la dirección de la luz incidente y la longitud de onda de la luz incidente. Obviamente, el objeto 30 de referencia puede comprender una pluralidad de partes, en el que cada parte tiene una propiedad de reflectancia que es diferente de las propiedades de reflectancia de las partes adyacentes (no mostradas).

En la Fig. 5A, el objeto 30 de referencia comprende una superficie sustancialmente plana en el campo visual del sensor 14 y la superficie se extiende en una dirección sustancialmente paralela a la primera dirección de movimiento Y. Este es un diseño preferido del objeto de referencia cuando se realiza la primera realización del procedimiento de determinación de la invención, pero otros diseños del objeto 30 de referencia pueden ser también apropiados. Debido a que la superficie del objeto 30 de referencia en la Fig. 5A es sustancialmente plana, una imagen tridimensional del objeto 30 de referencia, utilizando un procedimiento de triangulación óptica para generar un volumen espacio-temporal de las imágenes V_r de referencia, debería ser también sustancialmente plana.

Sin embargo, y tal como puede deducirse a partir de la Fig. 5B, debido a las diferentes propiedades de reflectancia de la primera parte 32 y la segunda parte 34 del objeto 30 de referencia, pueden producirse artefactos 36', 36" que indican incorrectamente una diferencia de altura en el área entre las dos partes 32, 34 del objeto 30 de referencia en la imagen tridimensional resultante. Probablemente, estos artefactos serán más evidentes si se usa la primera trayectoria O para buscar picos de intensidad de luz en un volumen espacio-temporal de imágenes V_r de referencia. Los artefactos 36', 36" probablemente disminuirían si, por el contrario, se usara la segunda trayectoria S. Sin embargo, y tal como se ha descrito anteriormente, debido a que la determinación de la extensión de la segunda trayectoria S no tiene en cuenta, por ejemplo, diversos fenómenos ópticos, no es ni mucho menos seguro que el uso de la segunda trayectoria S proporcionará una imagen tridimensional del objeto 30 de referencia que tiene la cantidad más baja y/o menor de artefactos 36', 36".

De esta manera, según la primera realización de la presente invención, el procedimiento de determinación comprende la etapa de

- a) suponer una extensión de la trayectoria R en el volumen espacio-temporal de las imágenes V_r de referencia, y
- b) determinar la medida de la cantidad de artefactos cuando se usa la extensión supuesta.

A continuación, las etapas a) y b) se repiten hasta que la medida esté por debajo de un valor umbral predeterminado o se haya alcanzado un mínimo.

La Fig. 5C indica la imagen tridimensional del objeto 30 de referencia creada cuando se usa la extensión de la trayectoria R obtenida a partir del procedimiento anterior. En comparación con la imagen en la Fig. 5B, es evidente que la cantidad de artefactos 36', 36" ha sido reducida significativamente, por lo tanto, se ha obtenido una

extensión de la trayectoria R que tiene una sensibilidad suficientemente baja a las variaciones en las propiedades de reflectancia. Esto permite la imagen tridimensional de un objeto 16 de medición, medida en el mismo estado de funcionamiento que para el procedimiento indicado anteriormente, siendo también suficientemente insensible a las variaciones de reflectancia.

5 Como una medida de la cantidad de artefactos 36', 36", se usa preferiblemente la varianza de los valores de perfil de altura calculados en la imagen tridimensional del objeto 30 de referencia. Esta medida puede ser usada preferiblemente en una rutina de optimización programada para minimizar la medida seleccionando la extensión óptima de la trayectoria R.

10 Cabe señalar que, aunque el ejemplo de la primera realización del procedimiento de determinación de la presente invención presentado anteriormente utiliza un objeto 30 de referencia sustancialmente plano, la primera realización también puede ser usada junto con un objeto 30 de referencia que tiene partes con diferentes alturas, es decir, diferentes coordenadas Z (no mostradas). De esta manera, si un objeto 16 de medición está provisto de una primera parte 32 y una segunda parte 34 que tienen propiedades de reflectancia diferentes, el propio objeto 16 de medición puede ser usado como el objeto 30 de referencia. De esta manera, el procedimiento de determinación de extensión según la realización descrita anteriormente puede ser usado entonces preferiblemente como un procedimiento de post-procesamiento.

15 La Fig. 6 ilustra una segunda realización del procedimiento de determinación de la invención. La segunda realización hace uso del hecho de que un punto 28 característico generará una distribución 38 de intensidades de luz a lo largo de una trayectoria R en el volumen espacio-temporal de imágenes V_r de referencia. La trayectoria R en la Fig. 6 es aproximada mediante una línea recta, pero, por supuesto, puede determinarse una extensión arbitraria de la trayectoria R utilizando la segunda realización del procedimiento de determinación.

20 El procedimiento de determinación de la Fig. 6 utiliza la idea de que cuando se obtiene la extensión de la trayectoria R correcta, la distribución 38 de intensidades de luz es completamente simétrica con respecto al centro 40, generalmente el centro de gravedad, de la distribución 38 de intensidades de luz. De esta manera, la segunda realización del procedimiento de determinación de la invención comprende las etapas de

- a) suponer una extensión de la trayectoria R, y
- b) analizar una distribución 38 de intensidades de luz a lo largo de la extensión de la trayectoria R supuesta en el volumen V_r espacio-temporal de referencia y estimar un centro 40 y una relación SR de simetría de la distribución.

30 A continuación, las etapas a) y b) se repiten hasta que la relación SR de simetría esté por debajo de un valor umbral predeterminado o se haya alcanzado un mínimo.

La segunda realización tiene diversas ventajas. Por ejemplo, no hay requisitos específicos acerca del objeto 30 de referencia, por ejemplo, en términos de propiedades de reflectancia o similares.

35 Además, la segunda realización puede permitir una implementación sencilla de una rutina de post-procesamiento para un volumen espacio-temporal de imágenes V_m de medición, es decir, el objeto 30 de referencia y el objeto 16 de medición son el mismo.

40 Tal como se usa en la presente memoria, una distribución 38 que tiene una relación SR de simetría baja es más simétrica con respecto al centro 40 que una distribución que tiene una relación SR de simetría más alta. De esta manera, de una manera similar a la primera realización del procedimiento de determinación de la invención, la medida SR de simetría puede ser usada preferiblemente en una rutina de optimización programada para minimizar la medida SR de simetría seleccionando la extensión óptima de la trayectoria R.

45 Una forma preferida de estimar la relación SR de simetría comprende una etapa de comparación del valor de intensidad de luz en dos puntos PR1, PR2 de trayectoria. Los puntos PR1, PR2 de trayectoria están situados a una distancia d predeterminada desde cada lado del centro 40 de la distribución 38 de intensidades de luz a lo largo de la trayectoria R supuesta. A continuación, la relación SR de simetría es determinada, en una realización preferida de la segunda realización, en base a la diferencia entre las intensidades de luz en los dos puntos PR1, PR2 de trayectoria.

50 La Fig. 7 ilustra una tercera realización del procedimiento de determinación de la invención. La tercera realización usa las enseñanzas descritas en conexión con la Fig. 2A, concretamente, que la extensión de la trayectoria R depende del movimiento del objeto 16 de medición con relación al sistema 10 de medición. De esta manera, puede usarse un algoritmo de estimación de movimiento que estima completamente el movimiento de uno o varios puntos del objeto 30 de referencia cuando se determina la extensión de la trayectoria.

De esta manera, un vector de movimiento en un punto particular del objeto 30 de referencia puede ser estimado preferiblemente utilizando la denominada ecuación de flujo óptico. Una explicación más completa acerca de cómo se hace esto en detalle se presenta en el documento de K. Nordberg y F. Vikstén "Motion based estimation and representation of 3D surfaces and boundaries", IWCM04, Günzburg, Alemania, International Workshop on Complex Motion (IWCM), Octubre de 2004. Sin embargo, cabe señalar que existen otros procedimientos viables para obtener el vector de movimiento, conocidos por la persona con conocimientos en la materia.

Utilizando el vector de movimiento obtenido de esta manera, puede determinarse un movimiento aparente del punto del objeto 30 de referencia. Una vez conocido el movimiento aparente del punto, la extensión de la trayectoria R puede ser determinada dejando que la trayectoria R siga el movimiento aparente. A continuación, puede suponerse que la extensión de la trayectoria R determinada de esta manera es válida para cada punto en las imágenes de referencia. Opcionalmente, se determina el movimiento aparente de una pluralidad de puntos, que preferiblemente tienen coordenadas X y/o Z diferentes, del objeto 30 de referencia. De esta manera, pueden generarse una pluralidad de sub-trayectorias cuyas extensiones dependen de las coordenadas X y Z del punto correspondiente y, por consiguiente, las coordenadas u_i , v_i en el volumen V_m espacio-temporal. A continuación, estas sub-trayectorias pueden ser ensambladas para formar una trayectoria R.

Con el fin de realizar el algoritmo de estimación de movimiento anterior, la primera fuente 12 de luz está adaptado preferiblemente para generar una región con luz sustancialmente homogénea. Además, con el fin de mejorar la función del algoritmo de estimación de movimiento, el objeto 30 de referencia comprende preferiblemente una parte con grandes variaciones de contraste, más preferiblemente la parte comprende una estructura especular.

La razón para usar un objeto 30 de referencia que comprende una parte con grandes variaciones de contraste en combinación con una luz homogénea se describe a continuación. Sin entrar en detalles, la solución de la ecuación de flujo óptico indicada anteriormente puede considerarse como equivalente a encontrar el vector nulo a un tensor Q de orientación. A su vez, el tensor de orientación puede ser representado por una matriz M de descriptores de puntos. A partir de, por ejemplo, del documento de K. Nordberg et. al. se conoce que en la determinación de un movimiento aparente de un objeto mediante el análisis de la matriz M de descriptores, la matriz M de descriptores tiene de hecho rango uno si el objeto solo contiene un único punto. De esta manera, mediante la introducción de la parte 42 con grandes variaciones de contraste en el objeto 30 de referencia, podría considerarse que el objeto 30 de referencia contiene solamente un único punto, teniendo la parte 42 grandes variaciones de contraste. Debido a que el rango de la matriz M de descriptores se reduce a rango uno, se simplifica el análisis del mismo, lo que a su vez simplifica la estimación del movimiento aparente de la parte 42 con grandes variaciones de contraste.

El vector de movimiento podría obtenerse también reduciendo el problema a un problema bidimensional y generando una imagen espacio-temporal del objeto 30 de referencia. A continuación, la información relativa al vector de movimiento podría obtenerse convolucionando la imagen espacio-temporal con un conjunto de los denominados filtros en cuadratura. Este enfoque se discute en detalle en H. Knutsson "Filtering and Reconstruction in Image processing", tesis doctorales, Universidad de Linköping, Suecia, 1982, Diss. N° 88, así como en Nordberg, K.; Farnebäck, G "A framework for estimation of orientation and velocity" International Conference on Image Processing, 2003, ICIP 2003, fecha de publicación 14-17 Sept. 2003, Volumen 3, página (s): III - 57-60 vol.2.

La Fig. 7 ilustra además un sistema 10 de medición preferido para realizar el procedimiento de estimación según la tercera realización de la invención. El sistema 10 de medición de la Fig. 7 comprende dos fuentes de luz, la primera fuente 12 de luz y una segunda fuente 46 de luz. La primera fuente 12 de luz está adaptada para generar una región con luz sustancialmente homogénea a ser usada en el procedimiento de movimiento aparente tal como se ha expuesto anteriormente, mientras que una segunda fuente 46 de luz puede estar adaptada preferiblemente para generar luz adecuada para generar imágenes tridimensionales de objetos. Además, el sensor 14 del sistema 10 de medición de la Fig. 7 puede estar adaptado para generar dos sub-imágenes 44', 44" para cada uno de al menos dos instantes de tiempo subsiguientes y, de esta manera, puede ser usado para generar dos conjuntos SI_1 , SI_2 de sub-imágenes. El primer conjunto de sub-imágenes SI_1 puede ser usado para generar imágenes para determinar las características de un objeto de medición, en particular el contorno tridimensional del mismo. El segundo conjunto de sub-imágenes SI_2 puede ser usado para el procedimiento de movimiento aparente descrito anteriormente.

Una vez determinada la extensión de la trayectoria R en un volumen espacio-temporal de imágenes V_m de medición usando una cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, por supuesto, la extensión puede ser usada para determinar las características de un objeto 16 de medición, preferiblemente el contorno tridimensional y/o la distribución de reflectancia y/o las propiedades de dispersión de luz del mismo, mediante el análisis de las intensidades de luz a lo largo de la trayectoria R en el volumen V_m espacio-temporal generado por un conjunto de imágenes IM_i de medición. El análisis puede ser realizado en una pluralidad de maneras. Por ejemplo, si se supone

- que la trayectoria R es una línea recta y se supone que la inclinación de la trayectoria es válida para todos los puntos del volumen V_m espacio-temporal, el volumen V_m espacio-temporal puede ser girado o cortado en correspondencia con la inclinación de la trayectoria R. Opcionalmente, en lugar de transformar el volumen V_m espacio-temporal, puede establecerse un procedimiento de búsqueda en el que la trayectoria R es seguida en el volumen V_m espacio-temporal original. Además, si se han determinado una pluralidad de trayectorias R en un volumen V_m espacio-temporal, por ejemplo, diferentes trayectorias R para diferentes partes del sensor 14, puede generarse un procedimiento de búsqueda que primero interpola la extensión de una trayectoria R para cada punto del sensor 14 y, a continuación, sigue la extensión de la trayectoria R interpolada cuando se buscan picos de intensidad de luz.
- El procedimiento de determinación de características descrito anteriormente puede ser usado en un amplio campo de aplicaciones. Puramente a modo de ejemplo, el procedimiento puede ser usado para generar imágenes tridimensionales de productos con el fin de detectar sus defectos. Los defectos que se buscan pueden ser, por ejemplo, grietas o arañazos proporcionados de manera no intencionada sobre los productos. Como un ejemplo específico, el producto puede ser de madera y el sistema de medición de la invención puede ser usado ventajosamente en un aserradero para controlar la calidad de la madera aserrada.
- Son factibles otras modificaciones de la invención dentro del alcance. Por ejemplo, aunque el concepto de generar una trayectoria R mediante el ensamblado de una pluralidad de sub-trayectorias sólo se ha descrito en detalle en conexión con la tercera realización de la presente invención, este concepto es factible para todas las realizaciones del procedimiento de determinación de la presente invención. Puramente a modo de ejemplo, el objeto 30 de referencia ilustrado en la Fig. 5A puede estar provisto de una pluralidad de superficies, cada una con partes 32, 34 primera y segunda con propiedades de reflectancia diferentes, en el que las superficies están situadas preferiblemente a una distancia entre sí en la dimensión X y/o Z. A continuación, el procedimiento de determinación descrito junto con las Figs. 5B y 5C pueden realizarse preferiblemente para cada una de las superficies indicadas anteriormente, generando de esta manera una pluralidad de sub-trayectorias que pueden ser ensambladas a una trayectoria R. En cuanto a la segunda realización, la relación SR de simetría puede ser minimizada preferiblemente a lo largo de una pluralidad de diferentes intervalos en la dimensión u_i y/o v_i del volumen V_m , espacio-temporal generando así sub-trayectorias para cada uno de los intervalos indicados anteriormente. De esta manera, la presente invención no debería considerarse limitada por las realizaciones y las figuras descritas en la presente memoria. Más bien, el alcance completo de la invención debería determinarse por las reivindicaciones adjuntas, con referencia a la descripción y los dibujos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación de la extensión de una trayectoria (R) en un volumen espacio-temporal de imágenes (V_m) de medición de un objeto (16) de medición, cuya extensión de la trayectoria es para su uso por parte de un procedimiento de medición, en el que dicho volumen espacio-temporal de imágenes (V_m) de medición es generado por dicho procedimiento de medición utilizando un sistema (10) de medición que comprende una primera fuente (12) de luz y un sensor (14), en el que dicho procedimiento de medición comprende una etapa de, en un estado de funcionamiento predeterminado de dicho sistema (10) de medición, mover el objeto (16) de medición a lo largo de una primera dirección (Y) de movimiento con relación a dicho sistema (10) de medición mientras dicha primera fuente (12) de luz ilumina dicho objeto (16) de medición, de manera que dicho sensor (14) genera una imagen de medición de dicho objeto (16) de medición en cada instante (T) de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes ($t_0 - t_n$) de tiempo subsiguientes, generando de esta manera dicho volumen espacio-temporal de imágenes (V_m) de medición, en el que dicha extensión de la trayectoria (R) en dicho volumen (V_m) espacio-temporal es tal que un punto (28) característico de dicho objeto (16) de medición se asignará a la misma, caracterizado por que dicho procedimiento de determinación de dicha extensión comprende las etapas de:
- 15 – mover, en dicho sistema (10) de medición y en dicho estado de funcionamiento predeterminado del mismo, un objeto (30) de referencia a lo largo de dicha primera dirección (Y) de movimiento con relación a dicho sistema (10) de medición mientras se ilumina dicho objeto de referencia con luz (18) incidente de manera que dicho sensor genera una imagen (I_r) de referencia de dicho objeto (30) de referencia en cada instante de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes ($t_0 - t_n$) de tiempo subsiguientes, y
 - 20 – determinar dicha extensión en base a dichas imágenes (I_r) de referencia.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha extensión de la trayectoria (R) está constituida por un conjunto de sub-trayectorias, en el que cada sub-trayectoria está comprendida dentro de un sub-volumen limitado de dicho volumen (V_m) espacio-temporal, dicho objeto (30) de referencia tiene una dimensión (X) transversal de objeto que es sustancialmente perpendicular a dicha primera dirección (Y) de movimiento, dicho objeto (30) de referencia tiene además una dimensión (Z) vertical de objeto que es sustancialmente perpendicular a dicha primera dirección (Y) de movimiento y dicha dimensión (X) transversal de objeto, en el que dicho procedimiento comprende las etapas de:
- 25 a) definir un conjunto de regiones de dicho objeto (30) de referencia, en el que cada región tiene un punto central, en el que dicho punto central de cada región en dicho conjunto está situado a una distancia en dicha dimensión (X) transversal de objeto y/o dicha dimensión (Z) vertical de objeto desde los puntos centrales de las otras regiones en dicho conjunto;
 - 30 b) para cada región en dicho conjunto de regiones, determinar dicha extensión de una sub-trayectoria correspondiente, y
 - 35 c) ensamblar dichas extensiones determinadas de sub-trayectorias correspondientes para formar dicha extensión de la trayectoria (R).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que dicho sensor (14) tiene una dimensión (v_s) longitudinal de sensor y una dimensión (u_s) transversal de sensor, en el que dicha dimensión (u_s) transversal de sensor es sustancialmente perpendicular a dicha primera dirección (Y) de movimiento, en el que una imagen (I_m) de medición generada por dicho sensor (14) tiene una dimensión (v_i) longitudinal de imagen y una dimensión (u_i) transversal de imagen correspondientes a dicha dimensión (v_s) longitudinal de sensor y dicha dimensión (u_s) transversal de sensor, respectivamente, de manera que dicho volumen (V_m) espacio-temporal tiene tres dimensiones: dicha dimensión (v_i) longitudinal de imagen; dicha dimensión (u_i) transversal de imagen y una dimensión (t) temporal, en el que dicha extensión de dicha trayectoria (R), o dicha sub-trayectoria, se supone que es una línea recta y la extensión de dicha línea se define por una inclinación con respecto a un primer eje de rotación en un primer ángulo (θ_{ST}) y con respecto a un segundo eje de rotación en un segundo ángulo (θ_{STU}), en el que dicho primer eje de rotación es paralelo a dicha dimensión transversal de imagen y dicho segundo eje de rotación es paralelo a dicha dimensión longitudinal de imagen.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que dicho segundo ángulo (θ_{STU}) se supone que es cero.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que dicho objeto (30) de referencia es el mismo que dicho objeto (16) de medición.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que dichas imágenes (I_r) de referencia forman un volumen espacio-temporal de imágenes (V_r) de referencia idéntico al volumen espacio-temporal de imágenes (V_m) de

medición.

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que dicho objeto (30) de referencia comprende una primera parte y una segunda parte, en el que dicha primera parte (32) y dicha segunda parte (34) tienen propiedades de reflectancia diferentes.

5 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el procedimiento comprende una etapa de determinación de una medida de la cantidad de artefactos (36', 36'') en una imagen tridimensional de dicho objeto (30) de referencia generada a partir de dichas imágenes (I_r) de referencia, en el que dicho procedimiento comprende además las etapas de:

a) suponer una extensión de dicha trayectoria (R), y

10 b) determinar dicha medida de la cantidad de artefactos (36', 36'') cuando se usa dicha extensión supuesta,

en el que las etapas a) y b) se repiten hasta que dicha medida esté por debajo de un valor umbral predeterminado o se haya alcanzado un mínimo.

15 9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que dicha medida de la cantidad de artefactos (36', 36'') se determina calculando una varianza de los valores de perfil de altura calculados en dicha imagen tridimensional de dicho objeto (30) de referencia.

20 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, en el que el procedimiento comprende una etapa de formación de un volumen espacio-temporal de referencia de dichas imágenes (V_r) de referencia, en el que un punto (28) característico de dicho objeto (30) de referencia generará una distribución de intensidades de luz a lo largo de una trayectoria (R) en dicho volumen espacio-temporal de dichas imágenes (V_r) de referencia, en el que dicho procedimiento comprende además las etapas de:

a) suponer una extensión de dicha trayectoria (R);

25 b) analizar dicha distribución (38) de intensidades de luz a lo largo de la extensión de dicha trayectoria (R) supuesta en dicho volumen (V_r) espacio-temporal de referencia y estimar un centro (40) y una relación (SR) de simetría de dicha distribución (38), en el que una distribución (38) que tiene una relación (SR) de simetría baja es más simétrica respecto a dicho centro (40) que una distribución que tiene una relación (SR) de simetría más alta,

en el que las etapas a) y b) se repiten hasta que dicha relación (SR) de simetría esté por debajo de un valor umbral predeterminado o se haya alcanzado un mínimo.

30 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que dicha etapa de estimar una relación (SR) de simetría de dicha distribución (38) comprende una etapa de comparación del valor de intensidad de luz en dos puntos (PR1, PR2) de trayectoria, en el que dichos puntos (PR1, PR2) de trayectoria están situados a una distancia (d) predeterminada desde cada lado de dicho centro (40) de dicha distribución (38) de intensidades de luz a lo largo de dicha trayectoria (R) supuesta, y dicha relación (SR) de simetría es determinada en base a la diferencia entre las Intensidades de luz en dichos dos puntos (PR1, PR2) de trayectoria.

35 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que dicha luz (18) incidente tiene una región con luz sustancialmente homogénea, en el que dicho procedimiento comprende además una etapa de medición de un movimiento aparente de al menos un punto en dichas imágenes (I_r) de referencia, en el que dicha extensión de dicha trayectoria (R) es estimada realizando un seguimiento de dicho punto característico a través de dichas imágenes de referencia.

40 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que dicho objeto de referencia comprende una parte con grandes variaciones de contraste en el campo visual de dicho sensor.

14. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que dicha parte comprende una estructura especular, con el fin de facilitar dicha medición de dicho movimiento aparente.

45 15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 12 - 14, en el que dicha estimación de movimiento es realizada utilizando filtros en cuadratura.

16. Procedimiento de determinación de características de un objeto (16) de medición por medio de un sistema (10) de medición que comprende una primera fuente (12) de luz y un sensor (14), en el que dicho procedimiento comprende una etapa de mover dicho objeto (16) de medición a lo largo de una primera dirección (Y) de movimiento con relación a dicho sistema (10) de medición mientras dicha primera fuente (12) de luz ilumina dicho

- objeto (16) de manera que dicho sensor (14) genera una imagen (I_m) de medición de dicho objeto (16) en cada instante de tiempo en un conjunto de al menos dos instantes ($t_0 - t_n$) de tiempo subsiguientes, generando de esta manera un volumen espacio-temporal de imágenes (V_m) de medición, en el que dicho procedimiento comprende además una etapa de identificación de un punto (28) característico de dicho objeto (16) de medición mediante la
- 5 determinación de una posición de un pico en la intensidad de dicha luz (20) reflejada a lo largo de una trayectoria (R) en dicho volumen (V_m) espacio-temporal, caracterizado por que la extensión de dicha trayectoria (R) es determinada usando el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 15.
17. Procedimiento según la reivindicación 16, en el que la etapa de determinación de dicha posición de dicho pico en la intensidad de dicha luz emanada desde dicho objeto es ejecutada estimando una distribución de intensidades
- 10 de luz a lo largo de dicha trayectoria, en el que dicho pico es determinado estimando el centro de gravedad de dicha distribución de intensidades de luz.
18. Procedimiento según la reivindicación 16 o 17, en el que el procedimiento de determinación de dicha extensión de dicha trayectoria, así como el procedimiento de determinación de las características de dicho objeto de medición, se realizan utilizando los resultados de la misma ejecución de dicho sistema de medición.
- 15 19. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 16 - 18, en el que dichas características a ser determinadas por el procedimiento comprenden el contorno tridimensional de dicho objeto de medición.
20. Producto de programa de ordenador para un sistema (10) de medición que comprende una primera fuente (12) de luz y un sensor (14), caracterizado por que comprende un programa de ordenador que contiene un código de programa de ordenador ejecutable en un ordenador o un procesador para implementar las etapas de un
- 20 procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 19, en el que dicho producto está almacenado en un medio legible por ordenador o una onda portadora.
21. Unidad (24) de control electrónico, caracterizada por que comprende un producto de programa de ordenador según la reivindicación 20 y está dispuesta para ejecutar un procedimiento de determinación de extensión de
- 25 trayectoria según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 15 y/o un procedimiento de determinación de características según una cualquiera de las reivindicaciones 16 - 19.
22. Un sistema (10) de medición que comprende una primera fuente (12) de luz y un sensor (14), caracterizado por que dicho sistema de medición comprende una unidad (24) de control electrónico según la reivindicación 21.
23. Sistema de medición según la reivindicación 22, en el que dicho sistema de medición comprende además una
- 30 segunda fuente (46) de luz, en el que dicha primera fuente (12) de luz está adaptada para generar una región con luz sustancialmente homogénea.
24. Sistema de medición según la reivindicación 22 o 23, en el que dicho sensor (14) está adaptado para generar dos sub-imágenes simultáneamente, en el que una sub-imagen está adaptada para ser usada en el procedimiento de determinación de características de dicho objeto de medición según una cualquiera de las reivindicaciones 16 - 19 y en el que la segunda sub-imagen está adaptada para ser usada en el procedimiento de determinación de la
- 35 extensión de una trayectoria según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 15.

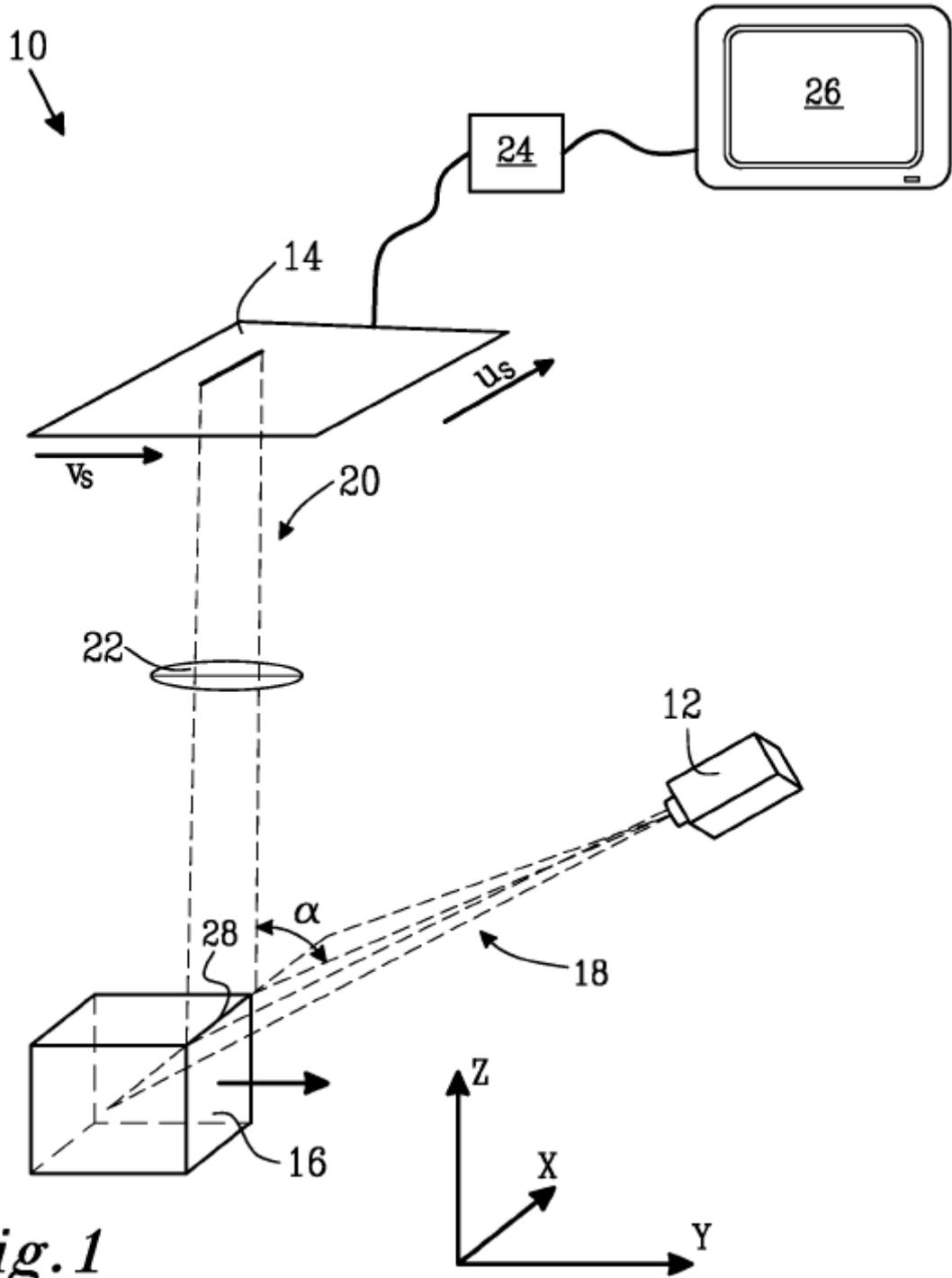


Fig. 1

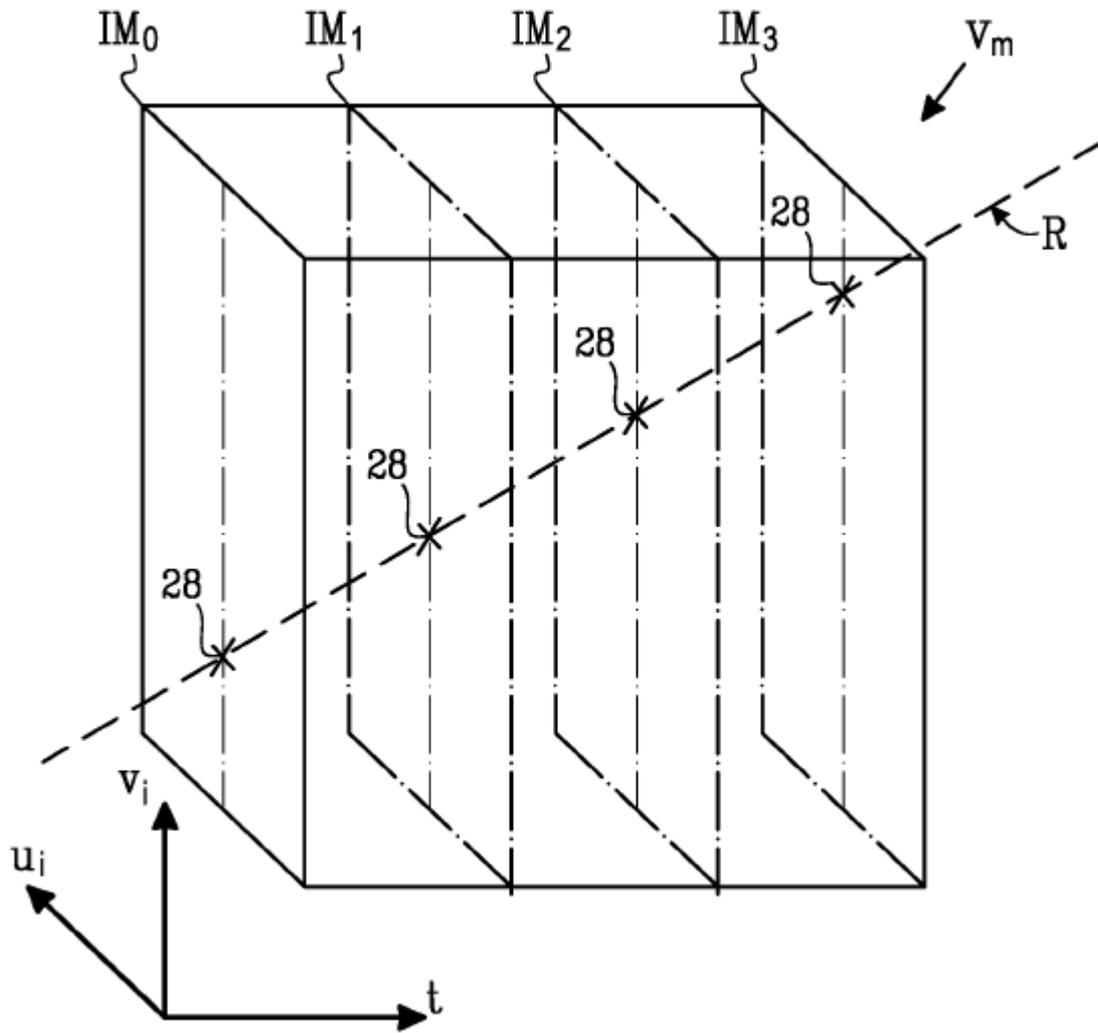


Fig.2A

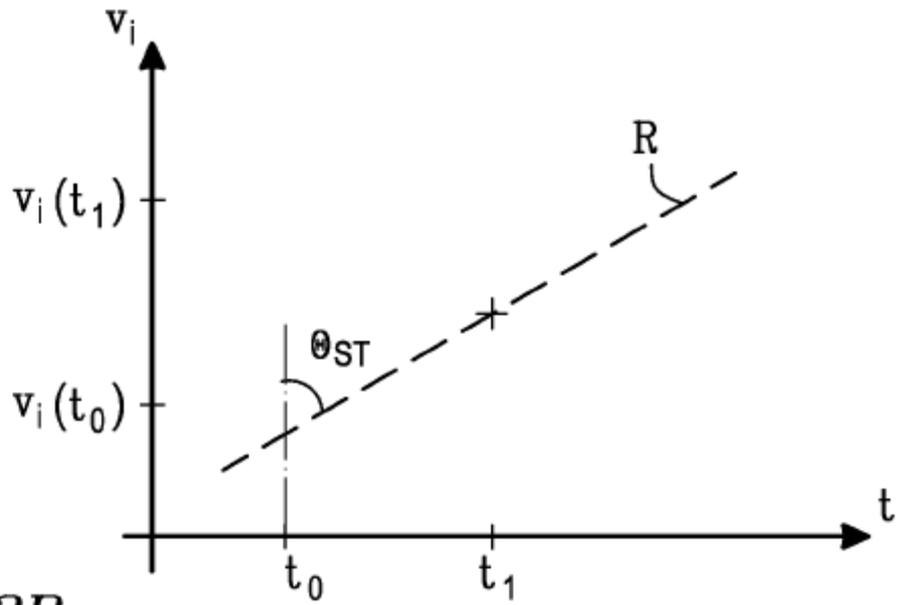


Fig.2B

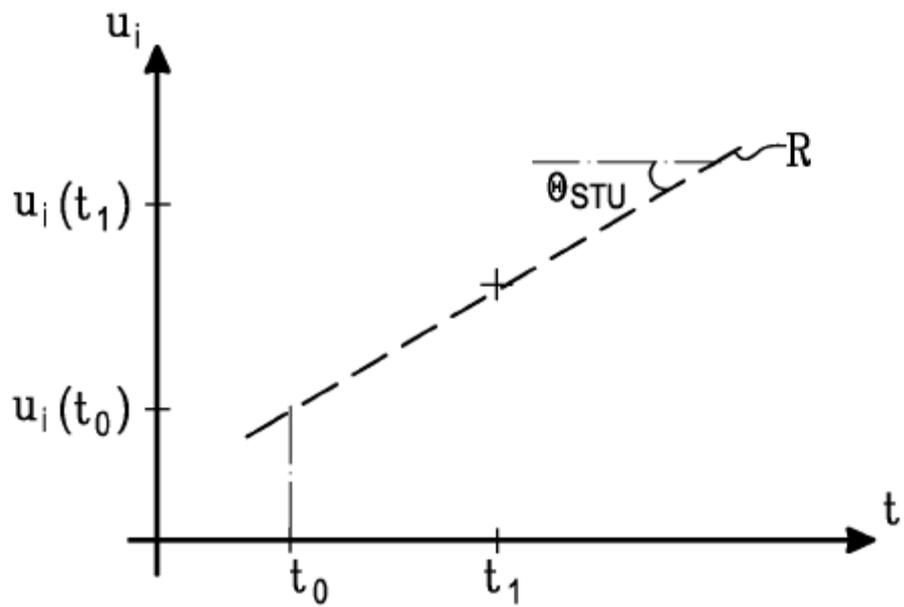


Fig.2C

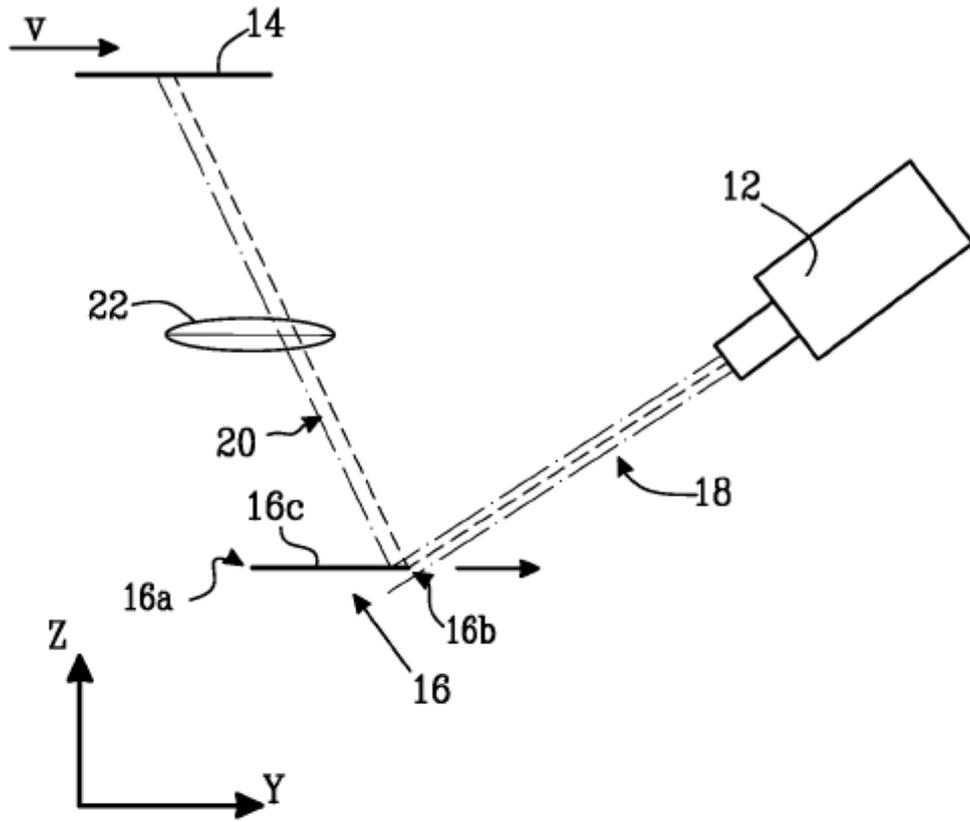


Fig. 3

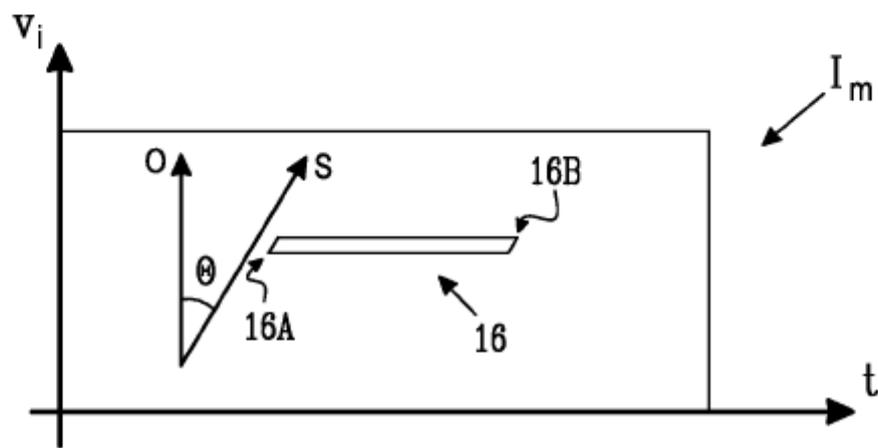


Fig. 4A

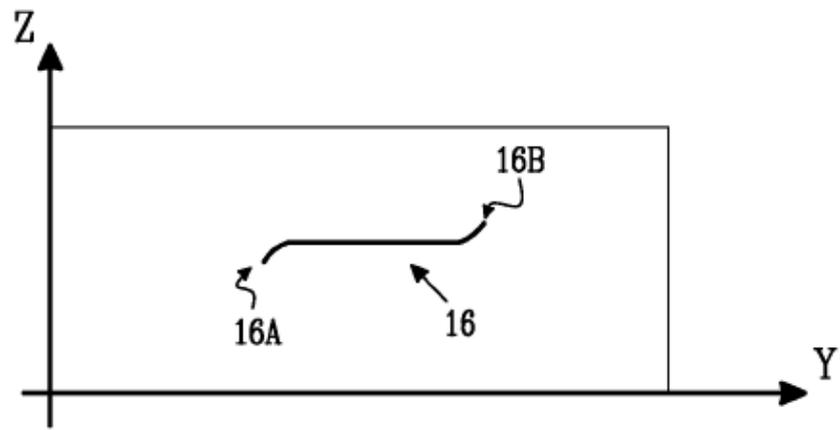


Fig. 4B

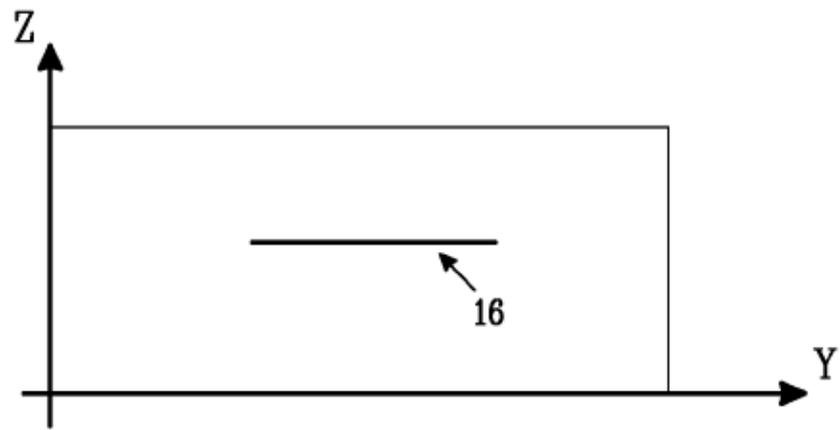


Fig. 4C

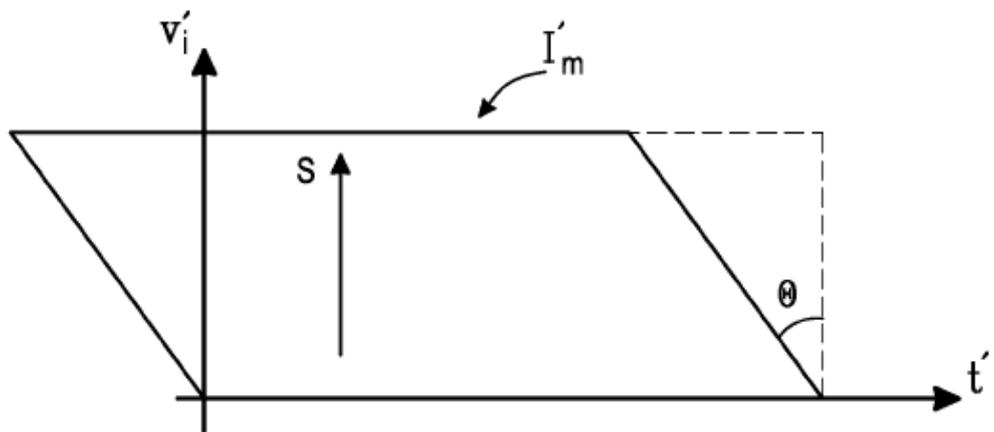


Fig. 4D

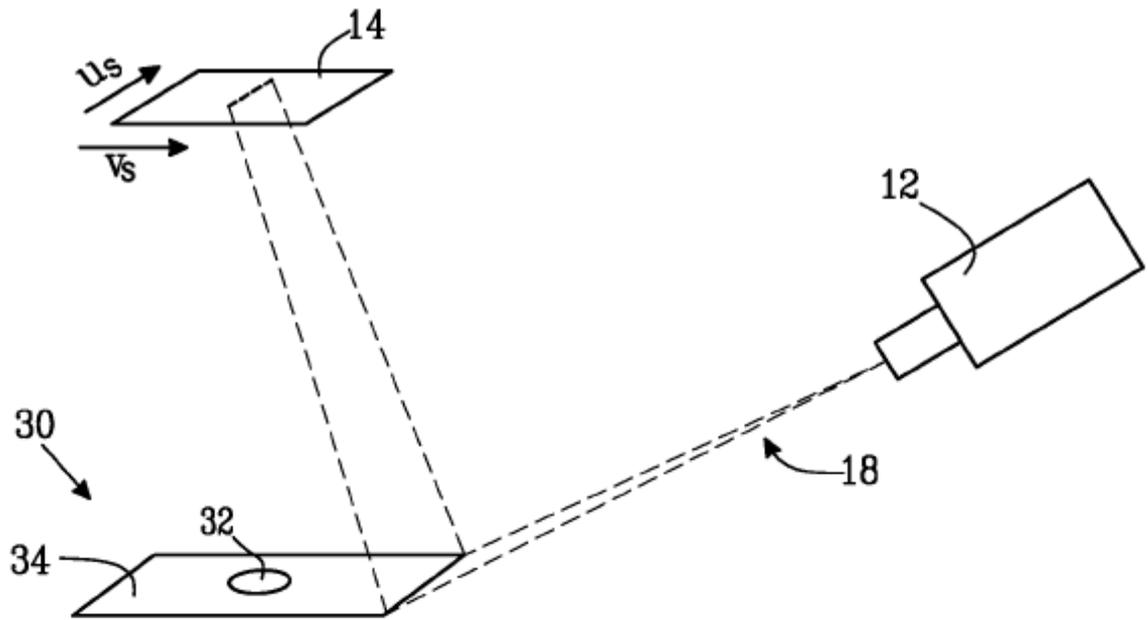


Fig. 5A

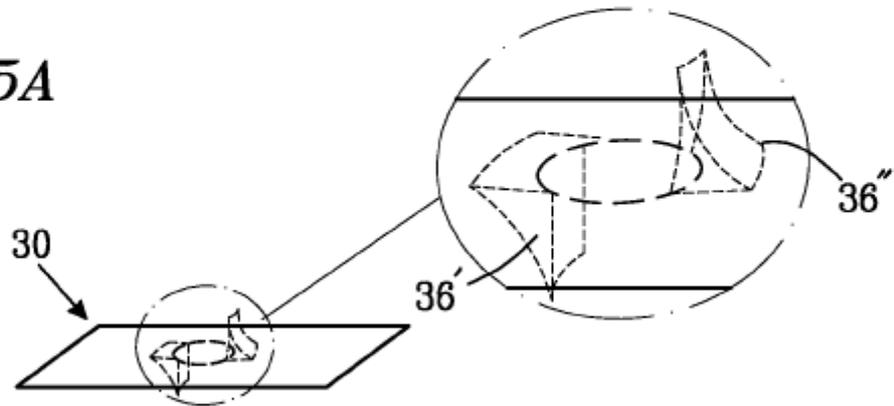


Fig. 5B

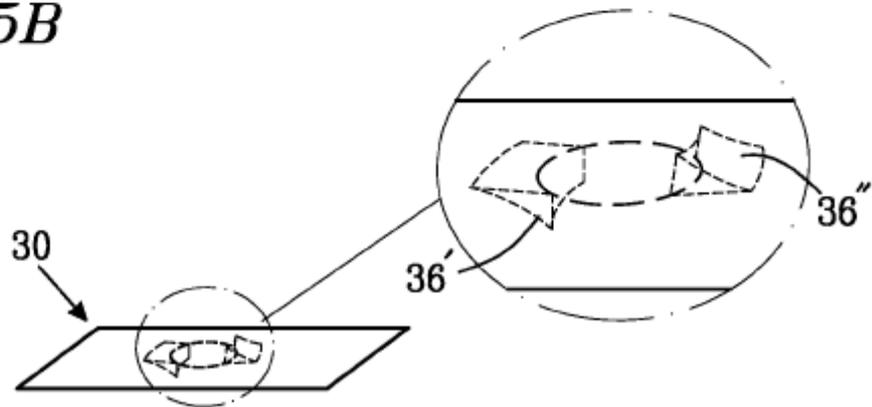


Fig. 5C

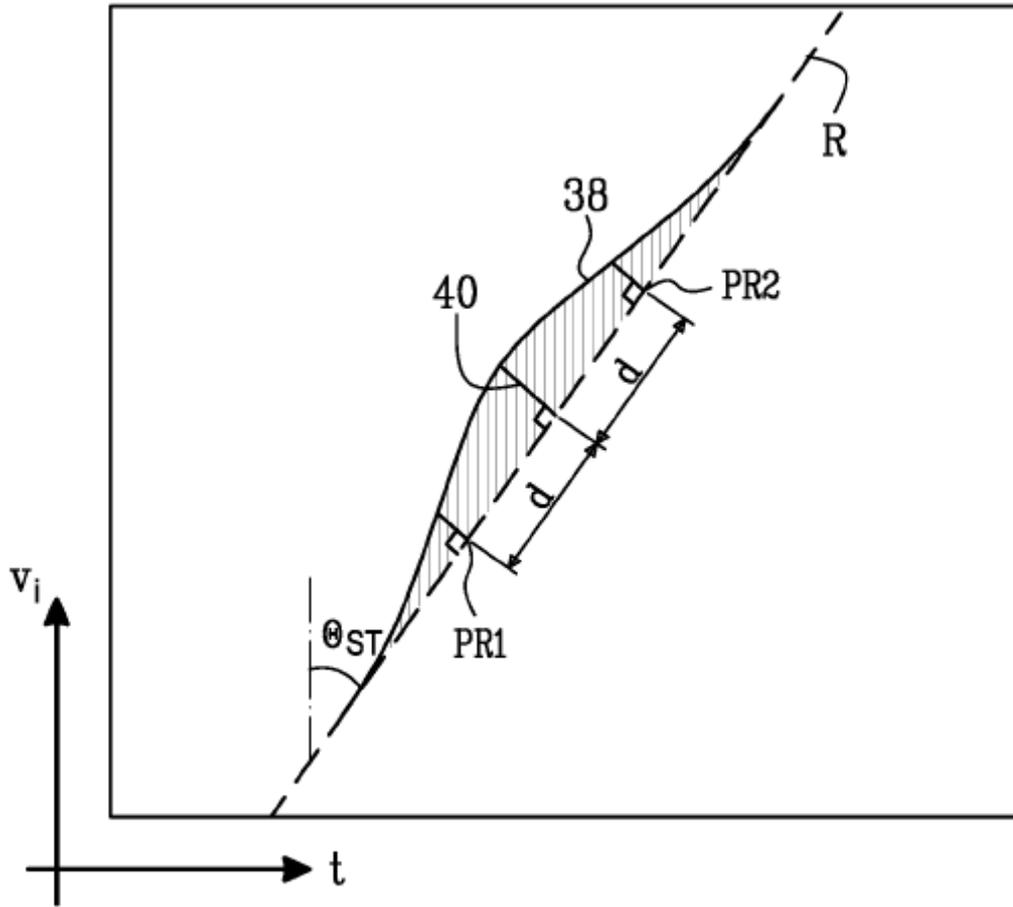


Fig.6

