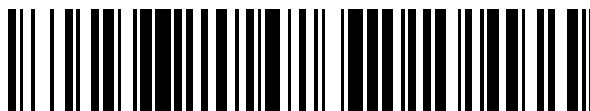


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 769**

51 Int. Cl.:

G01B 11/27	(2006.01)
G01C 11/06	(2006.01)
G01C 11/02	(2006.01)
G01C 11/30	(2006.01)
B60M 1/28	(2006.01)
G01S 5/16	(2006.01)
G06T 7/00	(2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.01.2011 PCT/AU2011/000056**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **28.07.2011 WO11088509**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.01.2011 E 11734251 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2526376**

54 Título: **Medición óptica de hilo aéreo**

30 Prioridad:

20.01.2010 AU 2010900210

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.09.2018

73 Titular/es:

**JRB ENGINEERING PTY LTD (100.0%)
24 Drummond Street
West Perth WA 6005, AU**

72 Inventor/es:

BLAIR, IAN STEWART

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 683 769 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).

MEDICIÓN ÓPTICA DE HILO AÉREO

DESCRIPCIÓN

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y a un sistema para la medición de la ubicación de un elemento elevado aéreo tal como un hilo.

10 **Antecedentes de la invención**

Los sistemas de ferrocarril eléctricos que se abastecen de electricidad de líneas de alimentación aéreas se basan en un pantógrafo unido a una locomotora eléctrica para proporcionar una trayectoria de corriente entre una línea de alimentación aérea y uno o más motores eléctricos. El pantógrafo soporta una escobilla de carbón que se extiende en perpendicular a la dirección de la línea aérea. Con el fin de maximizar la duración de la escobilla de carbón y evitar un daño, las líneas aéreas no se extienden exactamente en paralelo a las vías por las que circula la locomotora, sino que más bien están soportadas para serpentear dentro de unos límites predeterminados entre las vías. De esta manera, la línea aérea no entra en contacto con la escobilla de carbón en la misma ubicación sino que más bien el punto de contacto se mueve de lado a lado a lo largo de la escobilla a medida que la locomotora recorre el ferrocarril.

20 Durante la construcción del sistema de ferrocarril eléctrico, la ubicación de las líneas aéreas se predetermina y se registra. De tanto en tanto, cuando se lleva a cabo el mantenimiento de un sistema de ferrocarril eléctrico, es importante realizar mediciones para garantizar que las líneas de alimentación están en su ubicación predeterminada.

25 El documento JP H08-75462 da a conocer un método de medición óptica de una ubicación de uno o más objetos usando imágenes de cámaras según el preámbulo de la reivindicación 1.

30 **Sumario de la invención**

Según un aspecto de la invención, se proporciona un método de medición óptica de una ubicación en el espacio tridimensional de uno o más hilos en un grupo de hilos que comprende:

35 obtener datos de imagen estereoscópica para cada uno de los uno o más hilos de los pares de cámaras estereoscópicas espaciados entre sí primero y segundo que están situados en un plano de visión común;

procesar los datos de imagen de los pares de cámaras estereoscópicas primero y segundo para cada uno de los uno o más hilos para identificar cada uno de los uno o más hilos en una región de interés (Rol); y,

40 determinar una ubicación en el espacio tridimensional de hilos seleccionados de los hilos identificados usando datos de imagen de una cámara en cada uno de los pares de cámaras estereoscópicas primero y segundo.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de medición óptica de una ubicación de uno o más hilos en un grupo de hilos que comprende:

45 disponer dos pares de cámaras estereoscópicas en un plano de visión común para ver una región de interés (Rol);

recorrer la Rol a lo largo de un trayecto de extensión de los hilos en el que los hilos están situados dentro de la Rol y el plano de visión es sustancialmente perpendicular a una dirección de extensión de los hilos dentro de la Rol;

50 capturar imágenes estereoscópicas de los hilos en la Rol de cada par de cámaras estereoscópicas;

procesar las imágenes estereoscópicas para identificar cada hilo en la Rol; y,

55 determinar una ubicación en el espacio tridimensional de hilos seleccionados de los hilos identificados usando datos de imagen de una cámara de cada uno de los pares de cámaras estereoscópicas primero y segundo.

Obtener los datos de imagen estereoscópica puede comprender separar las cámaras en cada par por una distancia $D \geq$ un espaciado horizontal mínimo entre dos hilos cualesquiera dentro de la Rol.

60 Obtener los datos de imagen estereoscópica puede comprender separar las cámaras en cada par de cámaras estereoscópicas por una distancia $D =$ la extensión horizontal de RoU derecha + la extensión horizontal de RoU izquierda

65 en el que la extensión horizontal de RoU derecha es una extensión horizontal de una región de incertidumbre en la posición de un primer hilo del que se han obtenido imágenes mediante un par de cámaras estereoscópicas en el

lado derecho de la Rol; y,

5 la extensión horizontal de RoU izquierda es una extensión horizontal de una región de incertidumbre en la posición de un segundo hilo del que se han obtenido imágenes mediante un par de cámaras estereoscópicas en el lado izquierdo de la Rol en el que los hilos primero y segundo tienen un espaciado horizontal mínimo de dos hilos cualesquiera en la Rol.

10 Procesar los datos de imagen estereoscópica puede comprender combinar planos de la misma cámara en cada par de cámaras estereoscópicas resultantes de la proyección de líneas respectivas en la imagen que corresponden a bordes diferentes del mismo hilo para producir un plano combinado para esa cámara que contiene el hilo.

Combinar planos de la una cámara puede comprender procesar los datos de imagen usando un filtro de detección de bordes para identificar los planos que contienen datos de imagen representativos de un borde del hilo.

15 El método puede comprender combinar planos en el caso de que un ángulo entre normales respectivas de los planos está próximo a 0° .

20 Combinar los planos puede comprender combinar los planos en el caso de que una línea de intersección de los planos sea sustancialmente ortogonal a un rayo direccional de esa cámara.

Procesar los datos de imagen puede comprender intersecar los planos combinados para cada cámara en un par de cámaras estereoscópicas para producir hilos candidatos.

25 El método puede comprender asociar una región de incertidumbre con cada hilo candidato.

El método puede comprender retirar cualquier hilo candidato que esté situado debajo de la Rol.

30 Procesar los datos de imagen puede comprender comparar un hilo candidato del primer par de cámaras estereoscópicas con el del segundo par de cámaras estereoscópicas para producir un hilo candidato coincidente.

En una realización se considera que hilos candidatos respectivos de cada par de cámaras estereoscópicas constituyen un hilo candidato coincidente donde los hilos candidatos tienen regiones de incertidumbre que se solapan.

35 En otra realización se considera que hilos candidatos respectivos constituyen hilos candidatos coincidentes donde los hilos candidatos tienen regiones de incertidumbre que se solapan y los hilos candidatos respectivos se extienden en la misma dirección.

40 Determinar la ubicación de un hilo identificado puede comprender la triangulación de un candidato coincidente utilizando el plano combinado de cada una de las cámaras exteriores de cada par de cámaras estereoscópicas.

45 La triangulación puede comprender determinar la ubicación tridimensional de puntos respectivos de una línea producida por la intersección de los planos combinados de cada una de las cámaras exteriores y que están situados en planos de referencia respectivos que son paralelos al plano de visión común.

50 El método puede comprender capturar los datos de imagen estereoscópica para fotogramas espaciados entre sí sucesivos y en el que la determinación de una ubicación en el espacio tridimensional del hilo seleccionado de los hilos identificados comprende determinar la ubicación en el espacio tridimensional del uno o más hilos en cada uno de los fotogramas.

55 El método puede comprender llevar a cabo un proceso de rastreo de hilo a través de al menos N fotogramas consecutivos para hacer coincidir una ubicación de hilo en un fotograma de imagen actual con N - 1 fotogramas de imagen previos consecutivos, en el que se determina que un hilo rastreado a través de N - 1 fotogramas previos consecutivos es un hilo válido.

El proceso de rastreo de hilo puede comprender proyectar una ubicación de hilo en un fotograma de imagen previo sobre un fotograma de imagen posterior utilizando una traslación medida de la región de interés entre el fotograma previo y el fotograma de imagen actual.

60 **Breve descripción de los dibujos**

Ahora se describirá una realización de la presente invención a modo de ejemplo sólo con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

65 la figura 1 es una representación esquemática de una distribución de cámaras incorporadas en una realización de un sistema de medición de hilo aéreo y método asociado para medir la ubicación de hilos aéreos;

la figura 2 es una vista en alzado desde arriba esquemática de dos cámaras incorporadas en el sistema que capturan una imagen de una parte de un hilo;

5 la figura 3 es una representación esquemática desde el frente de las cámaras en el sistema que capturan una imagen de un hilo;

la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra etapas del método para medir la ubicación de un hilo aéreo;

10 la figura 5 es una representación esquemática que ilustra un espaciado relativo de cámaras en el sistema e hilos que puede generar errores;

la figura 6 ilustra una región de incertidumbre asociada con una captura de imagen estereoscópica;

15 la figura 7 ilustra un efecto de duplicación de la región de incertidumbre mostrada en la figura 6;

la figura 8 ilustra la relación entre un espaciado de cámaras para los pares de cámaras estereoscópicas respectivos y un espaciado de hilo que puede generar indicaciones falsas de posiciones de hilo;

20 la figura 9 es una representación esquemática del sistema de medición de hilo aéreo; y,

la figura 10 es una ilustración gráfica de un método de asignación de una región de incertidumbre para un hilo.

Descripción de una realización preferida

25 Se describe una realización de la presente invención en relación con la medición óptica de la ubicación tridimensional de hilos o líneas de alimentación eléctrica aéreas para un sistema de ferrocarril eléctrico. Sin embargo, pueden utilizarse realizaciones de la invención para medir ópticamente la ubicación tridimensional de diferentes tipos de hilos o de hecho elementos alargados tales como cables o vigas.

30 La figura 1 ilustra una vista frontal de una disposición de cámaras utilizadas en una realización del método. Con el fin de realizar un método, cuatro cámaras C1, C2, C3 y C4 (a continuación en el presente documento denominadas en general "cámaras C") están dispuestas en un plano P1 común para formar los pares 10a y 10b de cámaras estereoscópicas primero y segundo respectivos (a continuación en el presente documento denominados en general "pares 10 de cámaras"). El par 10a de cámaras comprende las cámaras C1 y C2 mientras que el par 10b de cámaras comprende las cámaras C3 y C4. En la figura 1, el plano P1 es el plano de una página. Las cámaras C1 a C4 están dispuestas para que sus campos de visión V1 a V4 respectivos se solapen para ver una región 12 de interés (Rol) común. La Rol 12 es una región en el plano P1 que está situada generalmente perpendicular a una dirección de extensión de los hilos W y a través de la que se espera que pase cada uno de los hilos W.

40 Cuando se usa el presente método para medir ópticamente la ubicación de hilos aéreos en un sistema de ferrocarril eléctrico, las cámaras C pueden montarse en un vehículo tal como un vehículo de carretera-ferrocarril que pueda recorrer vías de ferrocarril por encima de las cuales se extienden los hilos W. Por tanto, mientras el vehículo de carretera-ferrocarril realiza el recorrido en la dirección general de extensión de los hilos la Rol 12 está situada generalmente perpendicular a la dirección de la extensión de los hilos W.

50 La figura 2 ilustra en vista en planta las cámaras exteriores C1 y C4 de los pares 10a y 10b de cámaras respectivamente cuando se obtienen imágenes de uno de los hilos W. Por motivos de simplicidad no se muestran los hilos restantes así como las cámaras C2 y C3. La posición de un hilo W se mide como una posición lateral y vertical en planos R1 y R2 de referencia respectivos que en esta realización particular están espaciados por igual delante y detrás del plano P1 común. Sin embargo, no existe el requisito de que los planos estén espaciados de este modo. Los planos R1 y R2 se pueden configurar mediante software y, por tanto, en otras realizaciones pueden espaciarse de manera diferente en relación con el plano P1 y, de hecho, pueden estar ambos en el mismo lado de P1. Los planos R1, R2 y P1 son paralelos entre sí y, por tanto, normales a una dirección de viaje de un vehículo en el que están montadas las cámaras C. En una realización, el espaciado entre los planos R1 y R2 de referencia puede ser, por ejemplo, del orden de 375 mm. Mientras que cada una de las cámaras C capturará una imagen del hilo W junto con imágenes del espacio circundante, los datos de imagen de cada cámara C de mayor interés son los contenidos en planos de cámara que coinciden con bordes de un hilo W. Por ejemplo, con referencia a ambas figuras 2 y 3 y considerando la cámara C1, estos planos se marcan como planos I_{1A} e I_{1B} respectivamente. De manera similar, para las cámaras C2 - C4, estos planos se indican como I_{xA} e I_{xB} donde X es igual a 2, 3, 4. A partir de la figura 2, resultará evidente que los planos $I_{xA,b}$ pueden considerarse secciones triangulares del plano donde los bordes de cada plano $I_{xA,b}$ que divergen de una cámara C correspondiente coinciden con bordes visibles del hilo W.

65 La figura 4 plasma en sentido general una realización de un método 20 para medir ópticamente la ubicación tridimensional de uno o más hilos W en un grupo de hilos $W_1 - W_n$. En esta realización, el método 20 comprende en

general tres etapas 22, 24 y 26. Cada una de las etapas 22, 24, 26 comprende combinaciones respectivas de etapas adicionales. Sin embargo, a grandes rasgos, la etapa 22 comprende obtener datos de imagen estereoscópica de cada uno de los hilos W de los pares 10a y 10b de cámaras estereoscópicas espaciados entre sí primero y segundo que están situados en el plano P1 común. En la etapa 24, se procesan datos de imagen de los pares 10a y 10b de cámaras estereoscópicas primero y segundo para identificar cada uno de los hilos W en la región 12 de interés. En la etapa 26, se efectúa la determinación de la ubicación en el espacio tridimensional de hilos W identificados seleccionados usando datos de imagen de una de las cámaras C1 o C2; y, C3 o C4 en cada uno de los pares 10a y 10b de cámaras primero y segundo.

Examinando las etapas del método 20 un poco más en detalle, la etapa 22 comprende una combinación de una etapa 22a de sincronización y una etapa 22b de hacer funcionar las cámaras C. La etapa 22a garantiza que las cámaras C y el tacómetro de un vehículo en el que está montada la cámara C se sincronizan de modo que las cámaras se activan para capturar imágenes a espaciados conocidos a lo largo de una vía por la que viaja el vehículo. Esto permite que el presente método y sistema correlacionen una posición tridimensional determinada de un segmento de hilo con la ubicación de ese segmento de hilo a lo largo de toda la longitud del sistema de cables aéreos.

La etapa 24 comprende las subetapas 24a - 24e. En pocas palabras, la etapa 24a comprende combinar planos de imagen de la misma cámara para el mismo hilo para producir un plano de imagen combinado para ese hilo. En la etapa 24b, los planos combinados para las cámaras de cada par estereoscópico se combinan para identificar posiciones de hilo candidato dentro de una región de incertidumbre. Esto se explica en mayor detalle a continuación. Puede considerarse que esta etapa proporciona una identificación "basta" de la posible posición de hilo. Al identificar hilos candidatos, en la etapa 24c se descartan los hilos que están situados debajo de la Rol 12. Se retienen los hilos fuera de, pero no debajo de la Rol, ya que pueden ayudar a dejar de tomar en consideración planos de imagen irrelevantes. De manera similar, en la etapa 24d, también se descartan los hilos candidatos que tienen una dirección fuera de un margen predeterminado. Normalmente, esta dirección es la "X" en un sistema de coordenadas X, Y, Z donde X es la dirección de la vía sobre la que se extiende el hilo. Cualquier hilo candidato que se extiende en una dirección sustancialmente alejada de la dirección X se considera un error. Finalmente, en la etapa 24e, se combinan datos de imagen de cada uno de los pares 10a y 10b de cámaras estereoscópicas. Se considera que los hilos candidatos que coinciden durante este proceso de combinación identifican segmentos reales de hilos W. Combinar los datos de imagen estereoscópica de los pares 10a y 10b de cámaras da como resultado una región de incertidumbre mucho más pequeña, lo que proporciona una medición "fina" de la posición de hilo.

En la etapa 24, se identificarán no sólo los hilos W4 - W6 portadores de corriente, sino también sus hilos W1 - W3 de soporte correspondientes. Sin embargo, la posición de los hilos de soporte no es importante. Por tanto, en la etapa 26a estos hilos se identifican y posteriormente se excluyen del procesamiento de la etapa 26b. En la etapa 26b, se calcula la posición tridimensional de un candidato coincidente. Debido a la etapa 26a, la etapa 26b se realiza sólo en los hilos portadores de corriente, no en los hilos de soporte identificados en la etapa 26a previa. Tal como se explica en mayor detalle a continuación, la etapa 26b se consigue mediante triangulación usando datos de imagen de las cámaras exteriores C1 y C4.

El método 20 también incluye una etapa 27 opcional entre las etapas 24 y 26. La etapa 27 opcional es una etapa de seguimiento de hilo en la que se hace un seguimiento de la ubicación de un hilo candidato coincidente en un fotograma a través de N fotogramas previos. Si el candidato coincidente en un fotograma particular puede hacerse coincidir con N fotogramas previos, entonces se estima que el candidato coincidente representa un hilo o segmento de hilo real. Por el contrario, si no puede hacerse un seguimiento de un candidato coincidente en un fotograma a través de N fotogramas previos, se rechaza el candidato coincidente. Sin embargo, tal como se describe más adelante, el hilo candidato se retiene para una posible coincidencia con futuros candidatos.

Un precursor, o aspecto, de la etapa 22 es determinar una separación o distancia D1 entre cámaras C en pares 10 de cámaras respectivos. Esto requiere la consideración de dos factores contrapuestos. En primer lugar, las cámaras C de cualquier par 10 de cámaras particular deben poder resolver dos hilos separados sin una intersección falsa de los rayos de cámara. Por ejemplo, con particular referencia a la figura 5, si dos hilos W4 y W5 están espaciados horizontalmente una distancia D2 que es menor que la distancia D1, los rayos de las dos cámaras C1 y C2 se inclinarán los unos hacia los otros. Esto da como resultado una intersección 30 falsa por encima de los hilos W4 y W5. Esto conduce a una ambigüedad en cuanto a si una cámara C ve dos hilos uno al lado del otro o un hilo por encima del otro. Las cámaras C más próximas entre sí de un par 10 de cámaras particular pueden resolver hilos W más próximos entre sí. Por tanto, puede minimizarse una ambigüedad de este tipo cuando D1 es menor que o igual a D2.

Un segundo factor es un error asociado con la triangulación de la posición de hilo. Un error de medición en la obtención de imágenes, el procesamiento de imágenes y la combinación de resultados entre cámaras significa que el ángulo con el que un rayo sale de una cámara C tiene un grado de incertidumbre. Esto puede modelarse como un desplazamiento en una línea producido por una imagen de un hilo W de N píxeles en cualquier dirección. Para una posición de hilo axial dada, puede notificarse que el hilo está situado en cualquier lugar dentro de una región limitada por los rayos más inciertos de las dos cámaras de un par 10 particular, correspondientes a un desplazamiento de \pm

N píxeles. Esto se ilustra en la figura 6 que plasma las cámaras C1 y C2 del par 10a cuando ven un hilo W. Un rayo 36 de cámara del centro de la cámara C1 pasa a través del hilo W, mientras que el rayo 38 de cámara de la cámara C2 pasa a través del hilo W. Los rayos 36+ y 36- representan el rayo 36 desplazado + y - N píxeles respectivamente, mientras que los rayos 38+ y 38- representan el rayo 38 de cámara desplazado + o - N píxeles respectivamente. Los rayos desplazados producen una región 40 de incertidumbre (RoU) en el plano P1 en la que el hilo W puede existir. La RoU 40 tiene una altura 42 que se mide en paralelo a una línea 44 que se extiende centralmente entre las cámaras C1 y C2 y a través del hilo W; y una anchura 46 medida en perpendicular a la línea 44. Sin embargo, además, la región 40 de incertidumbre también tiene una extensión vertical que comprende el componente vertical de la altura 42, y una extensión horizontal correspondiente al componente horizontal de la anchura 46. Para una posición de hilo dada la extensión vertical y horizontal de la región de interés se reduce a medida que aumenta la separación D1 de cámara. Además, la extensión vertical y horizontal cambia para posiciones de hilo diferentes dentro de la Rol 12.

Dada una posición de hilo notificada de un par 10 de cámaras estereoscópicas, la región posible en la que puede estar situada la posición de hilo real tiene el mismo tamaño que la RoU 40. Por tanto, si la posición de hilo verdadera estuviera en el límite de la RoU 40 de una posición de hilo notificada, la región total donde puede inferirse que el hilo existe tiene dos veces la altura y dos veces la anchura de la RoU 40. Esto se ilustra en la figura 7 que plasma las cámaras C1 y C2 cuando ven el hilo W. La RoU 40 centrada alrededor del hilo W representa la región de incertidumbre original conforme a la figura 6 pero suavizada para tener la forma de una elipse. Si se notificara el hilo W en la parte superior 50 de la región 40, entonces la posición de hilo verdadera podría estar en cualquier lugar dentro de una región 40a que tiene la misma forma y tamaño que una región 40 pero centrada en la parte superior de la posición de hilo notificada. De manera similar, si se notifica el hilo W en una ubicación 52 en la parte inferior de la RoU 40, entonces la posición de hilo verdadera podría estar en cualquier lugar dentro de la región 40b. Si se notifica el hilo W en la ubicación 54 a la derecha de la RoU 40, o en la posición 56 a la izquierda de la RoU 40, entonces la posición de hilo verdadera podría estar en cualquier lugar en las regiones 40c y 40d respectivamente. La RoU 40 puede modelarse como barras de error horizontales y verticales asociadas con la ubicación notificada de un hilo W.

Tal como se explica en mayor detalle a continuación, el método 20 comprende combinar datos de imagen de cada uno de los pares 10a y 10b de cámaras estereoscópicas. En particular, si la RoU 40 alrededor de los resultados notificados de los pares 10a y 10b de cámaras interseca, se concluye que el hilo W existe en la intersección. Sin embargo, puede notificarse un resultado falso positivo si dos hilos W están lo suficientemente próximos como para que intersequen las regiones de incertidumbre para los pares 10a y 10b de cámaras de diferentes hilos W. Esto se ilustra en la figura 8. Esta figura ilustra los pares 10a y 10b de cámaras cuando ven los hilos Wx y Wy. Las regiones de incertidumbre alrededor de los hilos Wx y Wy vistos desde el par 10a de cámaras se plasman como 40ax y 40ay respectivamente. De manera similar, las regiones de incertidumbre alrededor de los hilos Wx y Wy vistos por el par 10b de cámaras se ilustran como las regiones 40bx y 40by respectivamente. A partir de esto puede observarse que las regiones 40bx y 40ay intersecan en dos ubicaciones 58 y 60. Además, tal como se muestra en la figura 8, las intersecciones 58 y 60 existen cuando la extensión 62 horizontal de la región de incertidumbre asociada con el par 10b de cámaras estereoscópicas derecho que ve el hilo Wx se solapa con la extensión 64 horizontal de la región de incertidumbre alrededor del resultado notificado del par 10a de cámaras estereoscópicas que ve el hilo Wy.

La separación mínima de los hilos Wx y Wy para evitar resultados falsos positivos depende de la extensión horizontal total de la región de incertidumbres de los pares 10a y 10b estereoscópicos izquierdo y derecho. Para evitar resultados ambiguos en el par estereoscópico, las cámaras C de cada par 10 deben estar próximas entre sí. Sin embargo, para evitar que la región de incertidumbre sea demasiado grande, las cámaras C1 y C2 deben estar alejadas entre sí. La separación de hilo mínima que puede resolverse de manera ambigua por un par 10 de cámaras estereoscópicas es igual a la separación D1 de cámara. Se encuentra un equilibrio cuando esta es igual a la separación mínima antes de que interseque la RoU 40 de los dos lados. Por tanto, para proporcionar resultados sin ambigüedades, $D1 = \text{la extensión horizontal de RoU derecha} + \text{la extensión horizontal de RoU izquierda}$.

A medida que la extensión horizontal cambia basándose en la posición del hilo dentro de la Rol 12, la separación D1 de cámara puede comprobarse de manera ideal para varios puntos dentro de la RoU. Los posibles puntos para comprobar la separación D1 de cámara para una Rol 12 rectangular tal como se muestra en la figura 1 comprenden las esquinas de la Rol y el centro de la Rol.

Cada una de las cámaras C tiene una aplicación de software asociada para procesar datos de imagen de la cámara C. Antes del uso del método 20, las aplicaciones de cámara respectivas se calibran usando un origen de espacio real y un sistema de coordenadas comunes. Esto puede lograrse empleando un bloque de calibración común que se mantiene en la misma posición para todas las cámaras C. El bloque de calibración puede estar dotado de cuatro superficies planas que forman una estructura de tipo caja donde cada superficie está dotada de una pluralidad de puntos en posiciones conocidas en el espacio real. El uso de bloques de calibración de este tipo para la calibración de cámaras se conoce en la técnica y se describe, por ejemplo, en la patente estadounidense n.º 7492448. El uso del bloque de calibración posibilita el cálculo de una matriz de transformación para cada cámara. La matriz permite una conversión entre un punto en el espacio de imagen y una línea correspondiente en el espacio real que pasa a través del centro de proyección de la cámara.

Al realizar el método 20, las cámaras C se hacen funcionar para capturar una imagen de los hilos W a intervalos o espaciados conocidos. El espaciado puede determinarse mediante el uso de un tacómetro asociado con el vehículo en el que están montadas las cámaras C. Por tanto, en una realización, el tacómetro del vehículo puede estar asociado con las cámaras C para activar las cámaras C para que tomen imágenes de los hilos W a intervalos que posibilitan el cálculo de posiciones de hilo, por ejemplo, cada 500 mm. Las cámaras C toman imágenes de un segmento de hilo W en planos que pueden considerarse que son de extensión infinita proyectándose desde la cámara y contienen una línea de la imagen, sin embargo, para los fines de realizaciones de este método, los planos de importancia son los segmentos l_{1a,b} de plano triangulares mucho más pequeños que están limitados por los bordes visibles del hilo. La recopilación de datos de imagen para estos planos posibilita la determinación de los puntos finales del segmento de hilo W en los planos R1 y R2. Por tanto, cada fotograma de imagen posibilita la notificación de la posición de un hilo en dos planos R1 y R2 espaciados entre sí. Por consiguiente, en el presente ejemplo con los planos R1 y R2 espaciados entre sí una distancia de 375 mm, hacer funcionar las cámaras C para que se activen basándose en el recuento del tacómetro del vehículo para, por ejemplo, cada 750 mm de vía recorridos por el vehículo posibilitará el cálculo de la posición de hilo cada 375 mm de vía.

En la etapa 24 del método 20, se combinan (etapa 24a) los planos l_{1a} e l_{1b} de cada cámara C que corresponden a bordes diferentes del mismo hilo W. Los planos l_{1a} e l_{1b} se determinan usando filtros de detección de bordes conocidos tales como filtros de Canny y Sobel. Por ejemplo, con referencia a la figura 3, se combinan los planos l₁₈ e l_{1b} de imagen que corresponden a bordes diferentes del mismo hilo W visto por la cámara C1. Sin embargo, debe observarse que un hilo puede comprender más de dos bordes. Por ejemplo, un borde puede aparecer en un hilo W debido a la reflexión de la luz solar. Los planos l_{1a,b} de la misma cámara C se combinan si están lo suficientemente próximos como para que sea probable que correspondan al mismo hilo W. Si los planos l_{1a,b} están próximos entre sí y próximos a ser paralelos, se considerará que los planos l_{1a} e l_{1b} están lo suficientemente próximos como para combinarse. Los planos están próximos entre sí si el ángulo entre las normales de cada plano es próximo a cero. Por ejemplo, para un hilo W que tiene un diámetro de 12,5 mm y, en el peor de los casos, que aparece en la esquina más próxima de la Rol 12, un producto escalar teórico entre las dos normales de los planos sería 0,9987 correspondiente a un ángulo de 0,9985°. Hilos W en diferentes ubicaciones dentro de la Rol 12 darán un ángulo pequeño y, por tanto, un producto escalar más grande.

Se efectúa una determinación en cuanto a si los planos están próximos a ser paralelos calculando si una línea de intersección entre los planos l_{1a} e l_{1b} está próxima a ser ortogonal al rayo direccional de las cámaras. La línea de intersección de los planos l_{1a,b} pasa a través del centro de proyección de la cámara C en cuestión. El rayo direccional de una cámara C es un rayo ortogonal al plano de imagen de la cámara, es decir, es el rayo que pasa a través del centro de proyección de la cámara y, en una imagen no recortada, el centro de esa imagen.

El plano combinado de cada cámara C de un par 10 de cámaras estereoscópicas es un plano que contiene la media ponderada de la normal de los planos l_{1a,b} y que contiene el centro de proyección de la cámara C. La media ponderada de las normales se determina de la siguiente manera. En primer lugar, cada normal se normaliza para que tenga una longitud de 1. La ponderación debe referirse a la longitud del segmento de hilo representado por ese plano l_{1a,b}, que puede aproximarse por el seno de un ángulo entre los bordes de los segmentos triangulares del plano l_{1a,b}. Las líneas usadas para crear el segmento triangular del plano combinado deben basarse en aquellas de los planos de componente proyectadas sobre el nuevo plano. Pueden usarse las dos que crean el ángulo positivo más grande y el negativo más grande con el rayo central de las cámaras.

Los planos combinados de cada una de las cámaras C en un par 10 de cámaras particular se procesan entonces para producir hilos candidatos iniciales que, tal como se describió antes en relación con la figura 6, tienen una región de incertidumbre asociada. El tamaño de una región de incertidumbre es constante para un hilo en una posición dada para una distribución de cámaras fija y suponiendo un error N de píxel predeterminado. Estos valores pueden calcularse previamente y almacenarse en un dispositivo de memoria accesible mediante un procesador que se usa para realizar el presente método. Estos valores de incertidumbre deben seleccionarse basándose en dónde interseca el hilo con el plano P1 común. Con referencia a la figura 10, esto puede lograrse de la siguiente manera. La región de interés Rol más parte de la zona circundante de este plano pueden dividirse en una cuadrícula G. La región de incertidumbre RoU puede modelarse como un rectángulo de altura y anchura conocidas donde el rectángulo se hace rotar una magnitud conocida desde la vertical ubicada en un punto central de cada elemento de cuadrícula. Asignar una región de incertidumbre para un hilo puede comprender las siguientes etapas:

- Usar la media de los valores X de los centros de proyección de las cámaras para determinar dónde está situado el plano de referencia π "en línea con las cámaras", paralelo al plano P1 común.
- Intersecar el hilo con π para producir el punto P.
- Suponer que el hilo se encuentra desde las cámaras C1 y C2. Encontrar la media de los centros de proyección de estas cámaras, llamarlo P_c. La dirección principal de la región de incertidumbre es el vector desde P_c hasta P.
- Determinar el punto N de cuadrícula más próximo a P. Buscar la anchura y altura de la región de incertidumbre de

este elemento de cuadrícula.

- Modelar la región de incertidumbre como un rectángulo con la anchura, altura y dirección (es decir, rotación) dadas.

5 Si la región de incertidumbre de un candidato se solapa con más de una región de otro hilo, deben usarse los candidatos que están más próximos entre sí. La medida de distancia que debe usarse es la distancia entre sus puntos de intersecciones con π .

10 Una vez que se determinan los hilos candidatos para cada uno de los pares 10 de cámaras, los resultados para cada uno de los pares 10 de cámaras se comparan y se hacen coincidir donde las barras de incertidumbre de los hilos candidatos de cada lado se solapan y los hilos están lo suficientemente próximos a la misma dirección (etapa 24e). Durante este proceso, se retira cualquier candidato que esté debajo de la Rol (etapa 24c) ya que esta región no contiene ningún hilo. Además, también se retiran (etapa 24d) hilos que se determina que se extienden en una dirección que diverge en una magnitud mayor de un umbral predeterminado (por ejemplo, $\pm 20^\circ$ o más preferiblemente $\pm 10^\circ$) de una dirección de viaje del vehículo en el que están montadas las cámaras C. Cuando se combinan los resultados de los pares 10a y 10b de cámaras estereoscópicas, también se comprueba si hay algunos candidatos y planos no coincidentes para una intersección de tres planos de cámara. Esto es para garantizar que no se prescinda erróneamente de un hilo que está situado justo detrás de otro hilo con referencia a cualquiera de las cámaras C1 - C4 y que, por tanto, sería invisible a esa cámara (es decir, visible en tres de las cuatro cámaras) en el momento de la captura de imagen.

25 La posición de un candidato coincidente que se estima que identifica un hilo W real se determina mediante triangulación usando los planos de las cámaras exteriores (etapa 26b). En este caso, estos son los planos de las cámaras C1 y C4. Más particularmente, la intersección de los planos combinados para las cámaras C1 y C4 para un candidato coincidente produce una línea que puede considerarse que coincide con un centro de un segmento del hilo W entre los planos R1 y R2 de referencia. La ubicación tridimensional de los puntos finales de esta línea se determina usando la intersección de los bordes del plano I triangular correspondiente y la línea. Suponiendo que el hilo W es recto, y conociendo los dos puntos finales en el espacio tridimensional, pueden determinarse la dirección del hilo y su posición en el espacio tridimensional.

30 La precisión del método 20 puede potenciarse comparando fotogramas sucesivos de las cámaras C para hacer coincidir hilos en un fotograma con aquellos de varios fotogramas previos sucesivos (etapa 27). Este proceso, conocido como "seguimiento de hilo", puede realizarse manteniendo una lista de hilos encontrados en cualquier fotograma particular y comparándola con una lista de hilos encontrados en fotogramas previos. Esto requiere que se trasladen hilos de fotogramas previos en contra de la dirección de viaje del vehículo en el que está montada la cámara C para tener en cuenta el movimiento del origen de espacio real que es fijo en relación con el vehículo. Los recuentos de tacómetro del vehículo para cada plano de imagen sucesivo pueden usarse para calcular esta traslación.

40 Si hilos en dos listas están lo suficientemente próximos se estima que son el mismo hilo. Se efectúa una comparación entre los hilos tanto en cuanto a sus intersecciones con un fotograma de referencia como a su dirección. Cuando se determina si los hilos están lo suficientemente próximos como para que se estime que son el mismo hilo, puede usarse un umbral para tomar en cuenta el movimiento lateral potencial del vehículo entre fotogramas. Una vez que se ha observado un hilo durante un número N suficiente de fotogramas consecutivos, se declara que es un hilo válido. Esta validez puede propagarse retrospectivamente a fotogramas previos donde se había identificado el hilo. Por tanto, es posible que los resultados de un fotograma no se completen hasta que se hayan procesado hasta este punto los siguientes N - 1 fotogramas. Hilos observados en un fotograma previo pero no en un fotograma actual pueden eliminarse de la lista del fotograma previo si no se han observado en M fotogramas. Hilos en la lista de un fotograma actual pero no en fotogramas previos se retienen para compararlos con fotogramas futuros.

55 El método y sistema presentes cuando se emplean para detectar la posición de hilos eléctricos aéreos en un sistema de ferrocarril pueden detectar tanto los hilos portadores de corriente como hilos de soporte. Generalmente, solamente presentan interés los hilos portadores de corriente. Los hilos de soporte normalmente estarán casi justo encima de los hilos portadores de corriente. Esto se muestra generalmente en la figura 1 donde los hilos W1, W2 y W3 pueden considerarse hilos de soporte y los hilos W4, W5 y W6 hilos portadores de corriente. Por consiguiente, los hilos de soporte pueden detectarse buscando pares de hilos aproximadamente en la misma dirección con intersecciones laterales muy similares con los planos R1, R2 de referencia e intersecciones verticales que difieren dentro de un margen conocido. Los hilos que se encuentran más arriba son los hilos de soporte y pueden descartarse.

65 La figura 9 plasma la arquitectura general de un sistema 70 para realizar el método 20. El sistema 70 consiste en las cámaras C1 - C4 cada una de ellas asociada con una aplicación 72a - 72d de cámara correspondiente respectivamente (a continuación en el presente documento denominadas en general "aplicaciones 72 de cámara"). Las aplicaciones 72 de cámara son idénticas para cada una de las cámaras C y pueden implementarse en cualquier lenguaje de programación adecuado. Las aplicaciones 72 de cámara se encargan de adquirir imágenes de sus

5 cámaras respectivas y procesar estas imágenes para extraer o derivar de otro modo el plano combinado en el espacio real correspondiente a cada hilo W aéreo visible. Por tanto, las aplicaciones 72 de cámara realizarán la etapa 22 del método 20. Una aplicación 74 de supervisor procesa los datos de imagen de cada una de las aplicaciones de cámara y realiza la triangulación para determinar la posición de los hilos en el espacio real. Las aplicaciones 72 de cámara y el supervisor 74 se implementan en la presente realización en una unidad 76 de procesamiento común. Sin embargo, esto no tiene por qué ser así y pueden usarse procesadores separados para las implementaciones respectivas. La unidad 76 de procesamiento normalmente estará soportada en el mismo vehículo que porta las cámaras C1 - C4. La aplicación 74 de supervisor puede comunicarse con un sistema de adquisición de datos principales (MDAS) mediante TCP/IP a través de una conexión Ethernet. Por tanto, el MDAS 78 puede estar ubicado de manera remota con respecto a la unidad 76 de procesamiento y almacena y puede procesar 10 adicionalmente información procedente del supervisor 74 así como enviar información de control al supervisor 74 y a una unidad 80 de interfaz (IU). Por ejemplo, el MDAS 78 puede enviar una notificación al supervisor 74 para que se conecte o se desconecte, y enviar una notificación a la IU 80 para que restablezca el recuento del tacómetro. La IU 80 proporciona información del tacómetro al supervisor 74 y monitoriza el estado de las luces y los obturadores de 15 cámara de las cámaras C1 - C4.

REIVINDICACIONES

1. Método (20) de medición óptica de una ubicación de uno o más objetos (W1-W6) que comprende:
 - 5 obtener datos (22b) de imagen estereoscópica para el objeto de los pares (10a, 10b) de cámaras estereoscópicas primero y segundo que están situados en un plano (P) de visión común;

10 teniendo el primer par (10a) de cámaras estereoscópicas una primera cámara y una segunda cámara (C1, C2) ubicadas adyacentes entre sí, y teniendo el segundo par (10b) de cámaras estereoscópicas una tercera cámara y una cuarta cámara (C3, C4) ubicadas adyacentes entre sí, estando el primer par (10a) de cámaras estereoscópicas espaciado con respecto al segundo par (10b) de cámaras estereoscópicas;

15 caracterizado porque la ubicación es una ubicación en un espacio tridimensional y los uno o más objetos son uno o más hilos (W1-W6) en un grupo de hilos (W1-W6);

20 procesar los datos (24) de imagen de los pares de cámaras estereoscópicas primero y segundo para cada uno de los uno o más hilos (W1-W6) para identificar cada uno de los uno o más hilos (W1-W6) en una región de interés (RoI); y,

25 determinar una ubicación en el espacio (26) tridimensional de los hilos seleccionados de los hilos (W1-W6) identificados usando datos de imagen de una cámara (C1, C4) en cada uno de los pares (10a, 10b) de cámaras estereoscópicas primero y segundo.
 2. Método (20) según la reivindicación 1, en el que obtener los datos de imagen estereoscópica comprende separar las cámaras (C1 y C2; C3 y C4) en cada par (10a, 10b) por una distancia $D \geq$ un espaciado horizontal mínimo entre dos hilos cualesquiera dentro de la RoI.
 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que obtener los datos (22b) de imagen estereoscópica comprende separar las cámaras (C1 y C2; C3 y C4) en cada par (10a, 10b) de cámaras estereoscópicas por una distancia $D =$ la extensión horizontal de RoU derecha + la extensión horizontal de RoU izquierda

35 en el que la extensión horizontal de RoU derecha es una extensión horizontal de una región de incertidumbre en una posición de un primer hilo del que se han obtenido imágenes mediante un par (10b) de cámaras estereoscópicas en el lado derecho de la RoI; y,

40 la extensión horizontal de RoU izquierda es una extensión horizontal de una región de incertidumbre en una posición de un segundo hilo del que se han obtenido imágenes mediante un par (10b) de cámaras estereoscópicas en el lado izquierdo de la RoI en el que los hilos primero y segundo tienen un espaciado horizontal mínimo de dos hilos cualesquiera en la RoI.
 4. Método (20) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que procesar los datos (24) de imagen estereoscópica comprende combinar planos de la misma cámara (C1-C4) de cada par (10a, 10b) de cámaras estereoscópicas resultantes de la proyección de líneas respectivas en la imagen que corresponden a bordes diferentes del mismo hilo (W1-W6) para producir un plano combinado para esa cámara que contiene el hilo (24a).
 5. Método (20) según la reivindicación 4, en el que combinar planos de la una cámara (24a) comprende procesar los datos de imagen usando un filtro de detección de bordes para identificar los planos (Ixa, Ixb) que contienen datos de imagen representativos de un borde del hilo (W1-W6).
 6. Método (20) según la reivindicación 4 ó 5, que comprende combinar planos en el caso de que un ángulo entre normales respectivas de los planos está próximo a 0° .
 7. Método (20) según la reivindicación 6, en el que combinar los planos comprende combinar los planos en el caso de que una línea de intersección de los planos sea sustancialmente ortogonal a un rayo direccional de esa cámara.
 8. Método (20) según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que procesar los datos (24) de imagen comprende intersecar los planos combinados para cada cámara en un par de cámaras estereoscópicas para producir hilos (24b) candidatos.
 9. Método (20) según la reivindicación 8, que comprende asociar una región de incertidumbre con cada hilo candidato.
 10. Método (20) según la reivindicación 9, que comprende retirar cualquier hilo candidato que esté situado debajo de la RoI (24c).

- 5
11. Método (20) según una cualquiera de las reivindicaciones 8 ó 10, en el que procesar los datos (24) de imagen comprende comparar un hilo candidato del primer par de cámaras estereoscópicas con el del segundo par de cámaras estereoscópicas para producir un hilo (24e) candidato coincidente.
12. Método (20) según la reivindicación 11, en el que se considera que hilos candidatos respectivos de cada par (10a, 10b) de cámaras estereoscópicas constituyen un hilo candidato coincidente donde los hilos candidatos respectivos tienen regiones de incertidumbre que se solapan.
- 10
13. Método (20) según la reivindicación 11, en el que se considera que hilos candidatos respectivos constituyen un hilo candidato coincidente donde los hilos candidatos tienen regiones de incertidumbre que se solapan y los hilos candidatos respectivos se extienden en la misma dirección.
- 15
14. Método (20) según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que determinar la ubicación de un hilo identificado comprende la triangulación de un hilo candidato coincidente utilizando el plano combinado de cada una de las cámaras exteriores en cada par (26b) de cámaras estereoscópicas.
- 20
15. Método (20) según la reivindicación 14, en el que la triangulación comprende determinar la ubicación tridimensional de puntos respectivos de una línea producida por la intersección de los planos combinados de cada una de las cámaras (C1, C2) exteriores y que están situados en planos (R1, R2) de referencia respectivos que son paralelos al plano (P) de visión común.
- 25
16. Método (20) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-15, que comprende capturar los datos de imagen estereoscópica para fotogramas de imagen espaciados entre sí sucesivos y en el que la determinación de una ubicación en el espacio tridimensional del hilo seleccionado de los hilos (W1-W6) identificados comprende determinar la ubicación en el espacio tridimensional del uno o más hilos en cada uno de los fotogramas de imagen.
- 30
17. Método (20) según la reivindicación 16, que comprende llevar a cabo un proceso de rastreo de hilo a través de al menos N fotogramas de imagen consecutivos para hacer coincidir una ubicación de hilo en un fotograma de imagen actual con N - 1 fotogramas de imagen previos consecutivos, en el que se determina que un hilo rastreado a través de N - 1 fotogramas de imagen previos consecutivos es un hilo válido.
- 35
18. Método (20) según la reivindicación 17, en el que el proceso de rastreo de hilo comprende proyectar una ubicación de hilo en un fotograma de imagen previo sobre un fotograma de imagen posterior utilizando una traslación medida de la región de interés entre el fotograma previo y el fotograma de imagen actual.

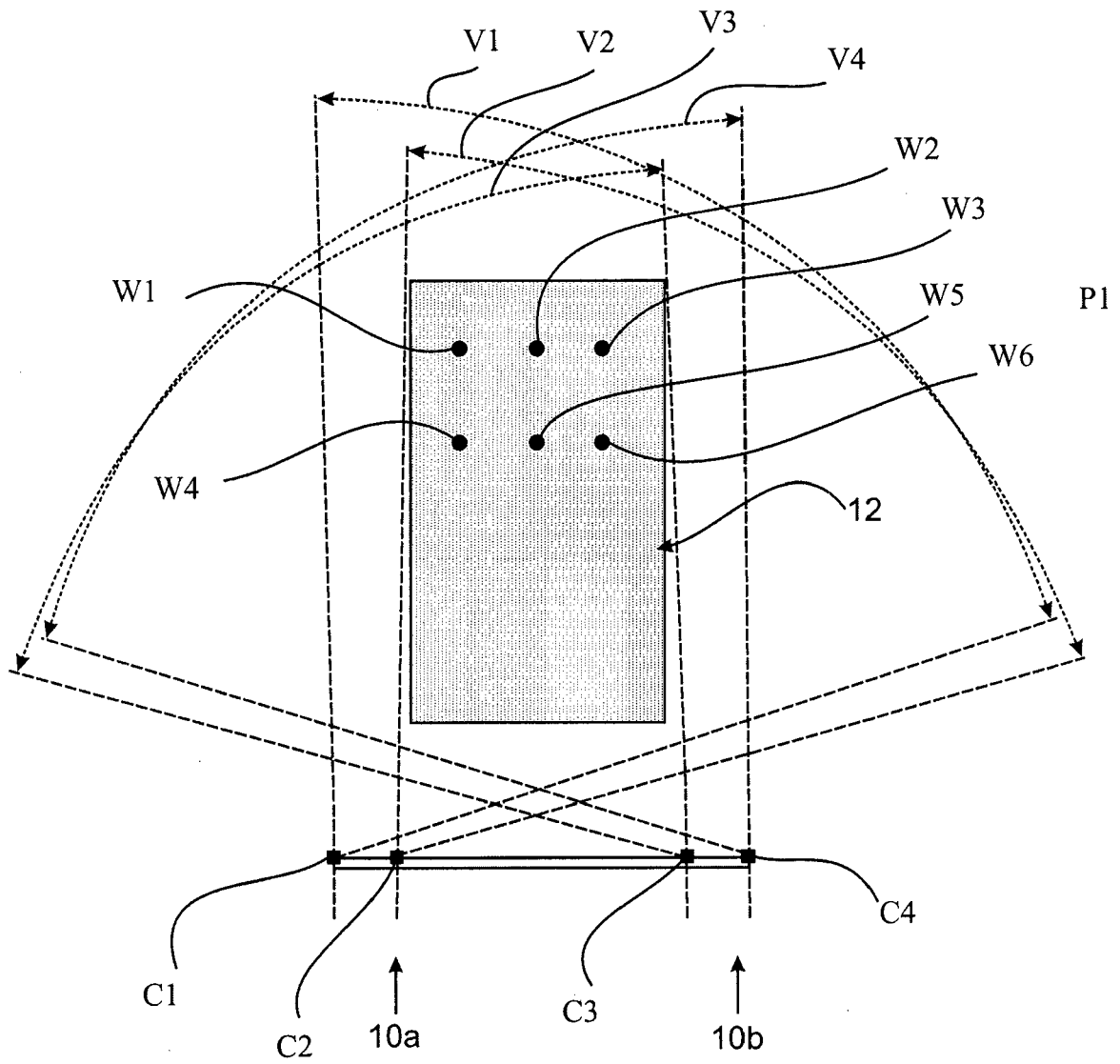


FIG. 1

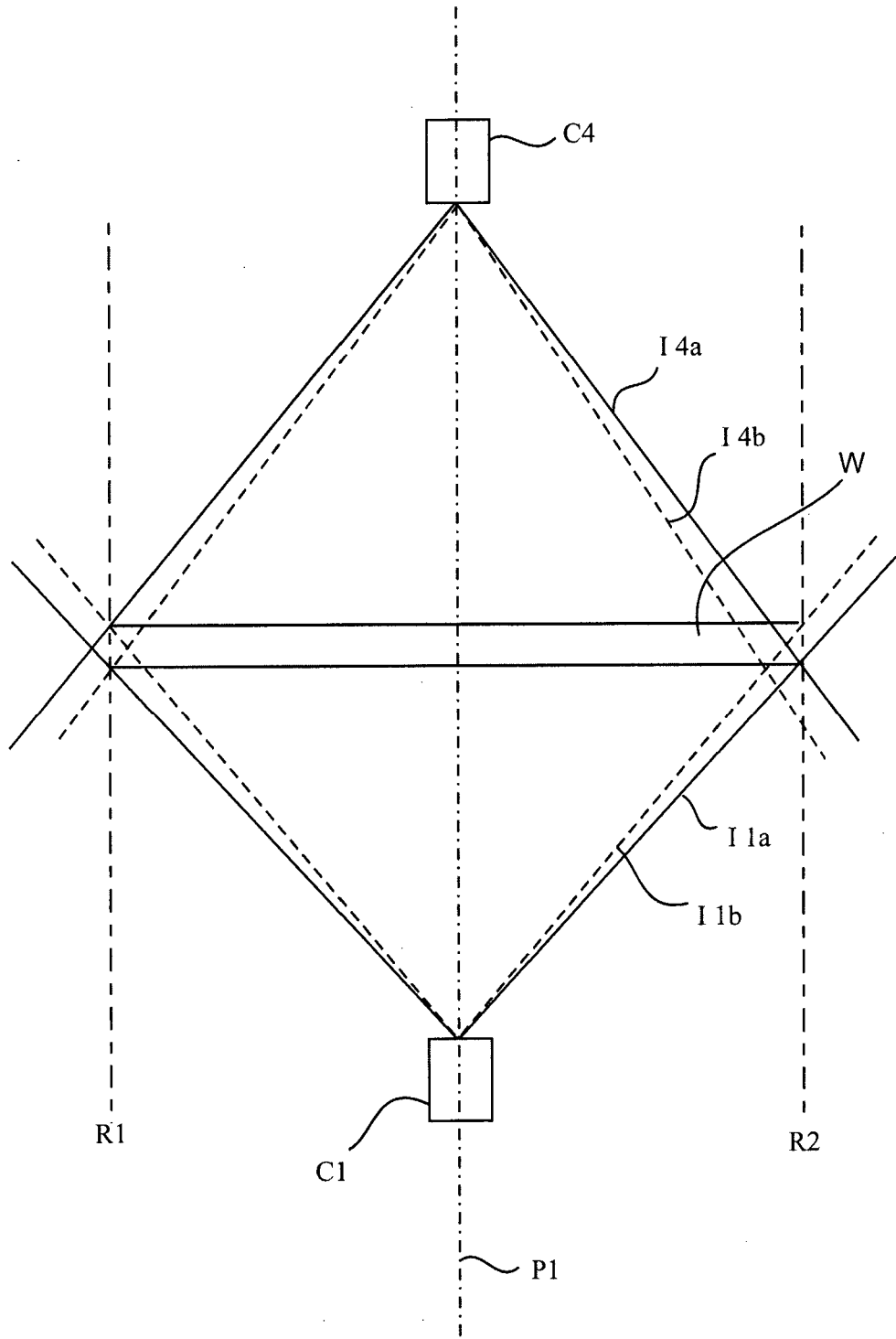


FIG. 2

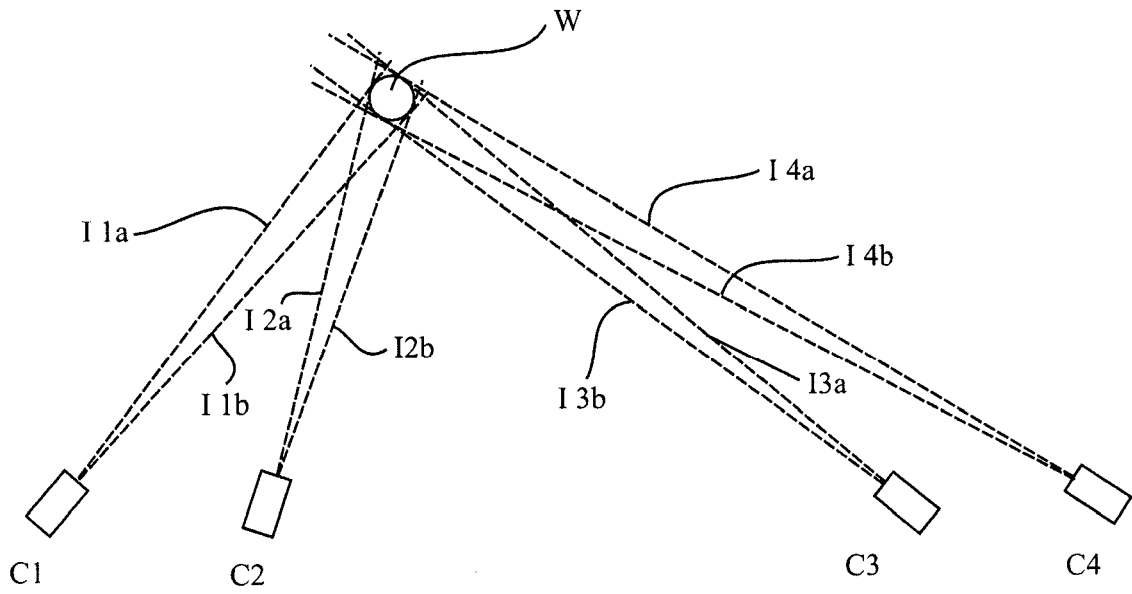


FIG. 3

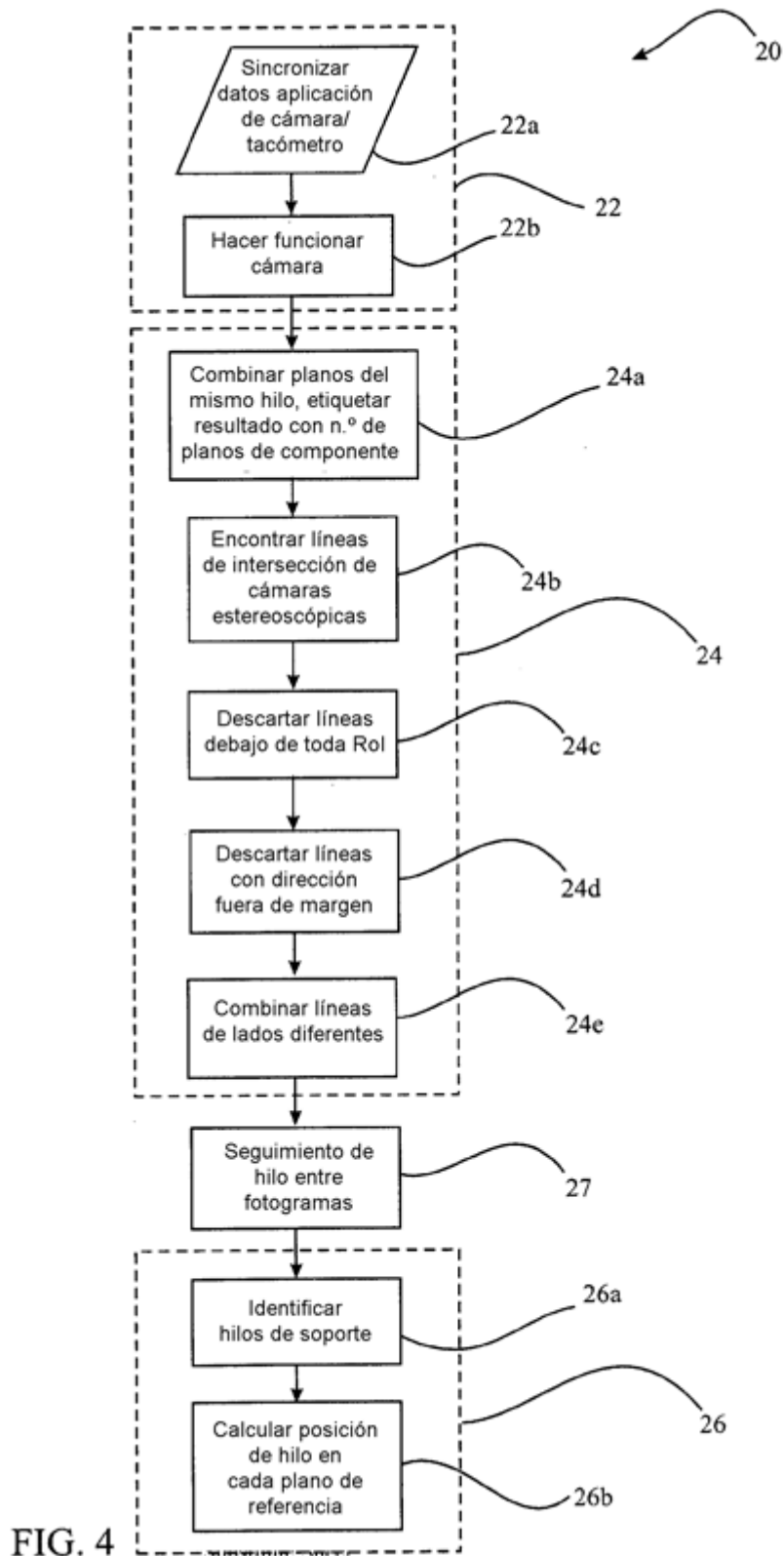


FIG. 4

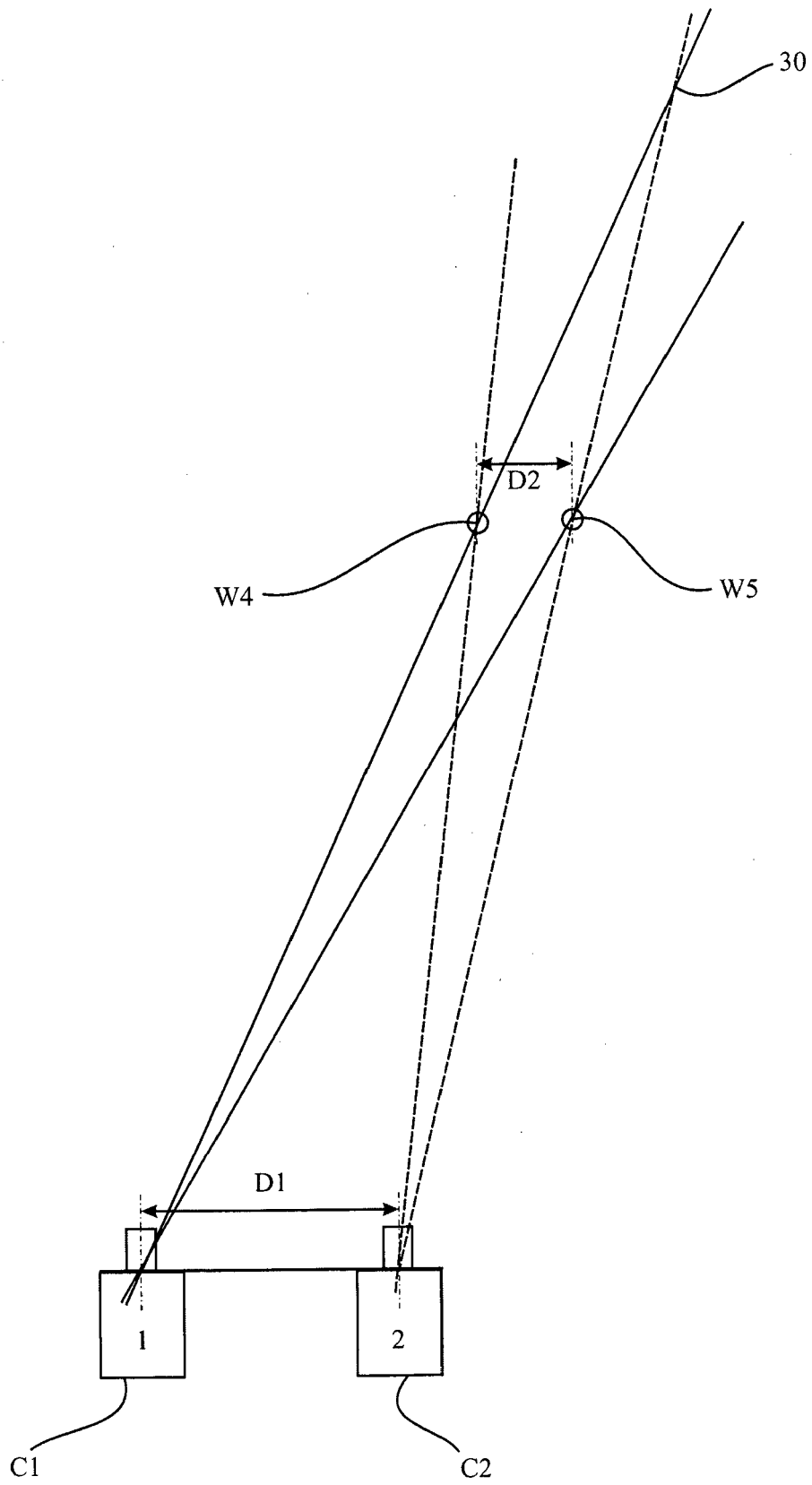


FIG. 5

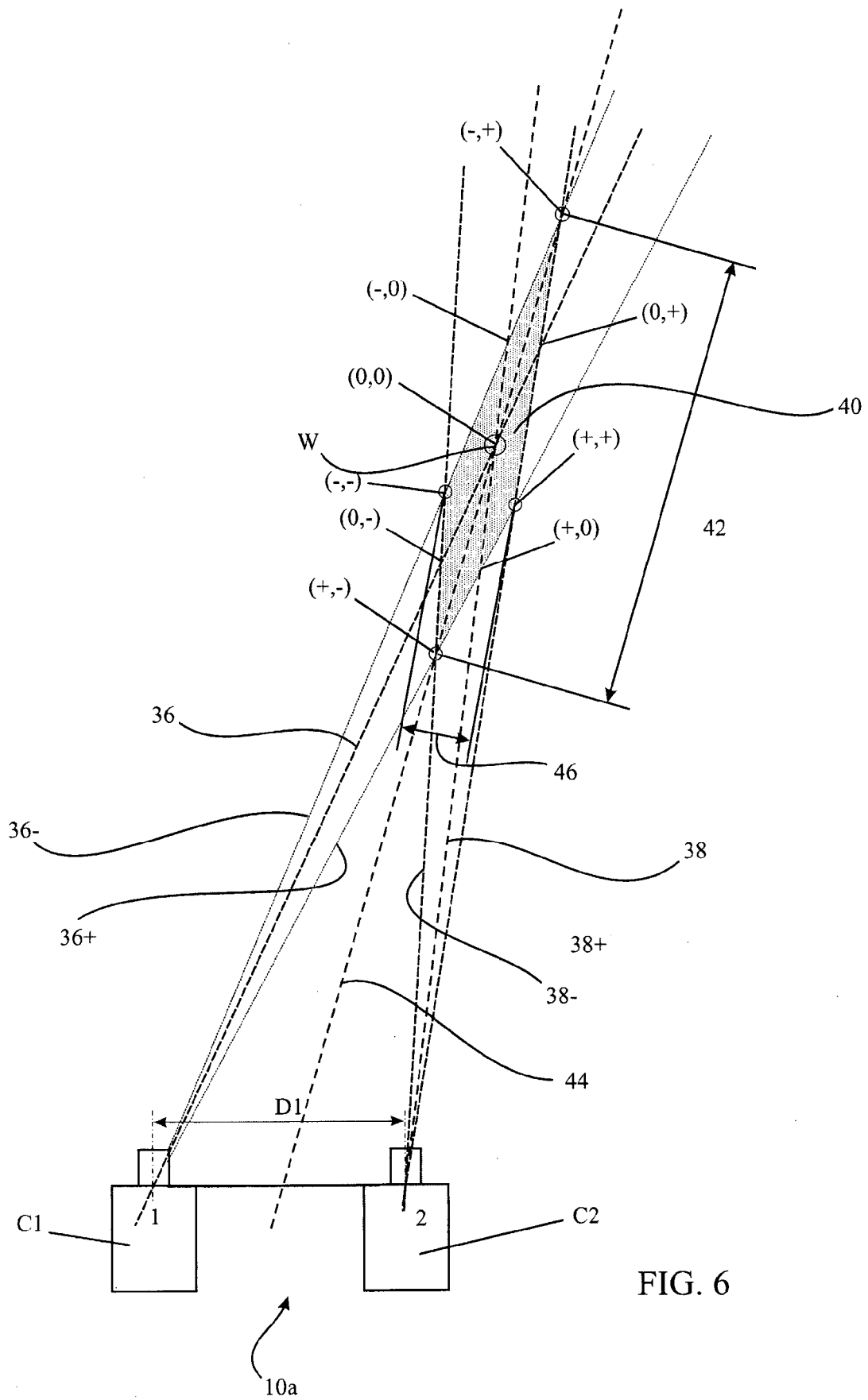


FIG. 6

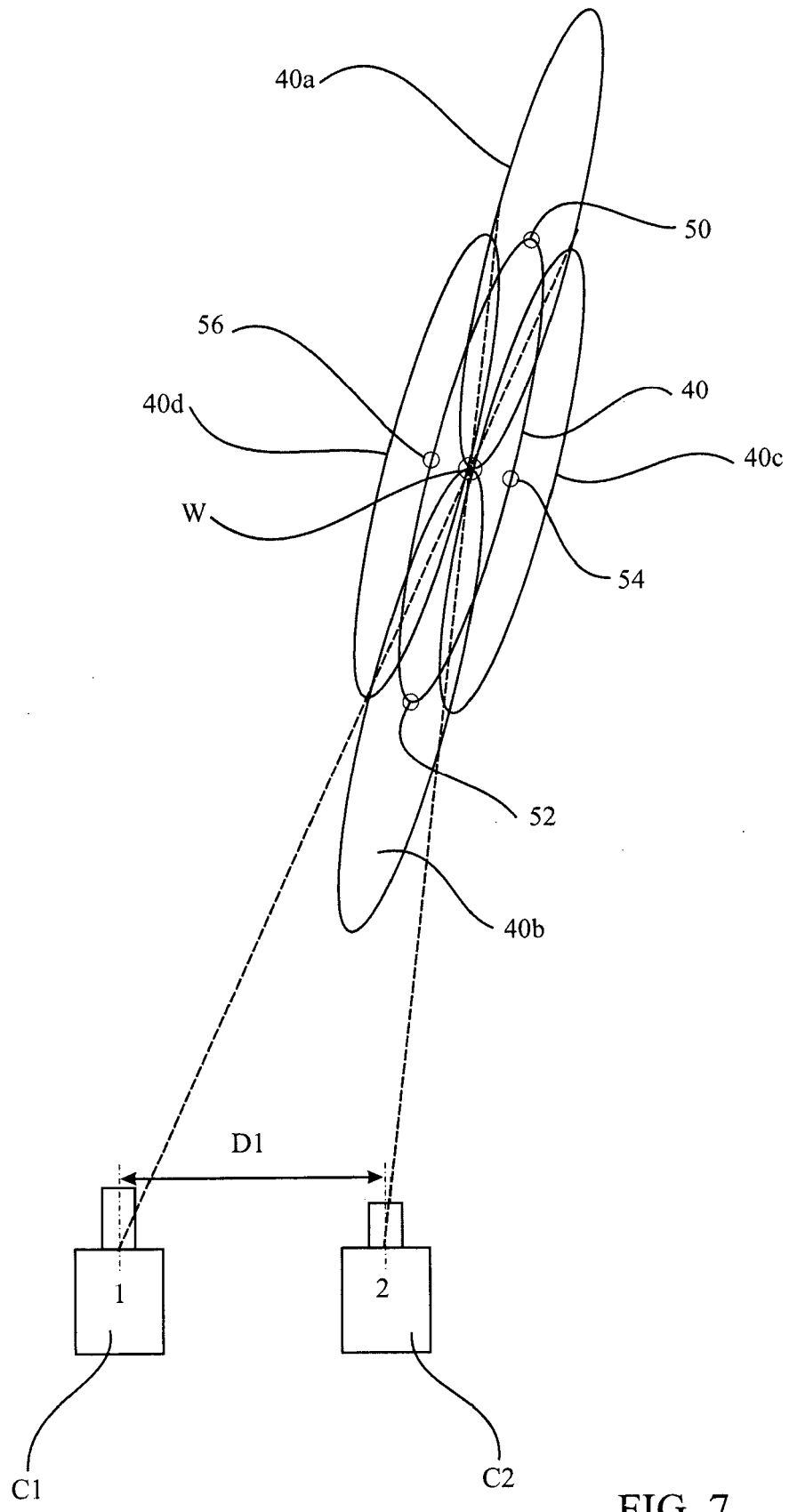
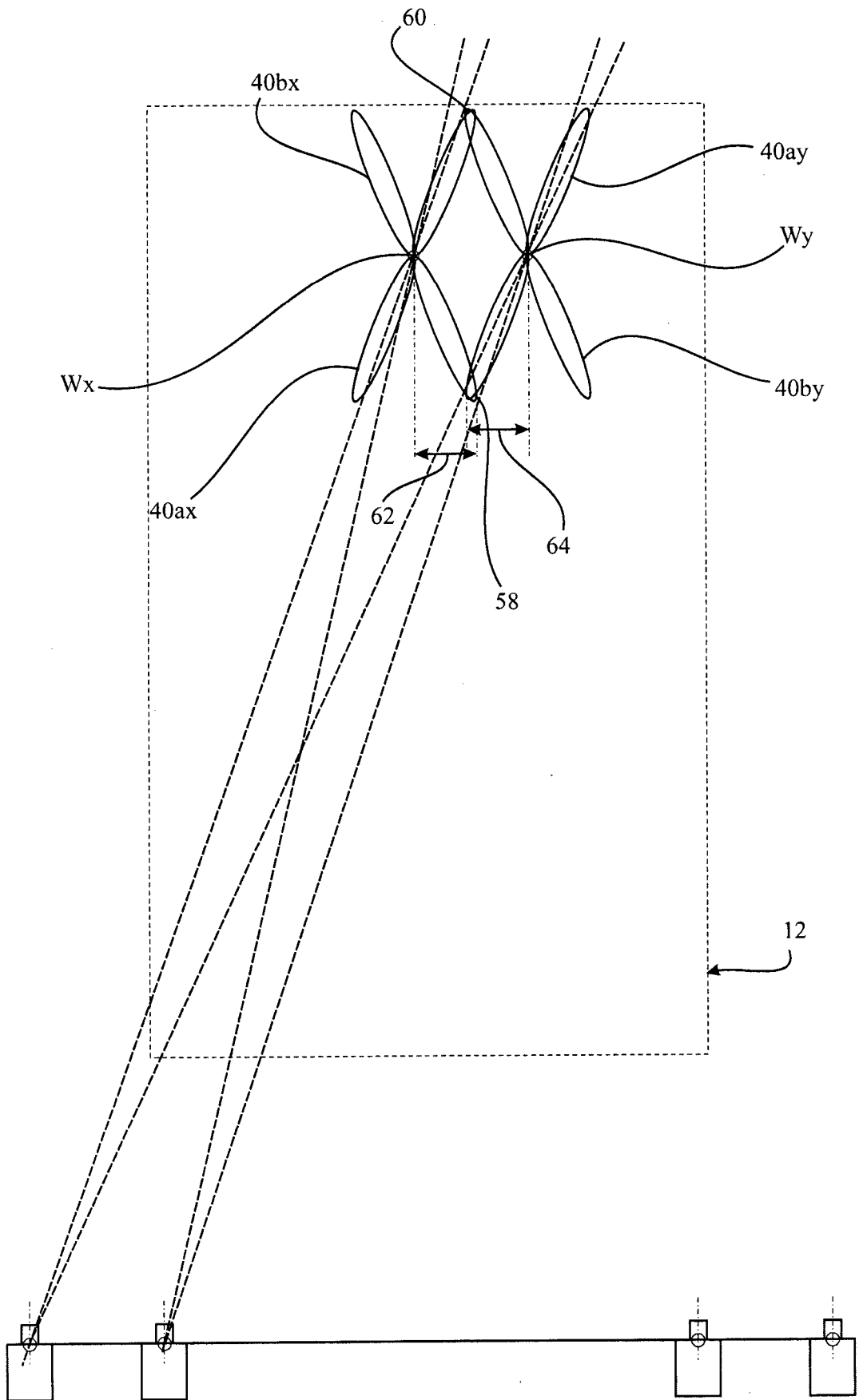


FIG. 7



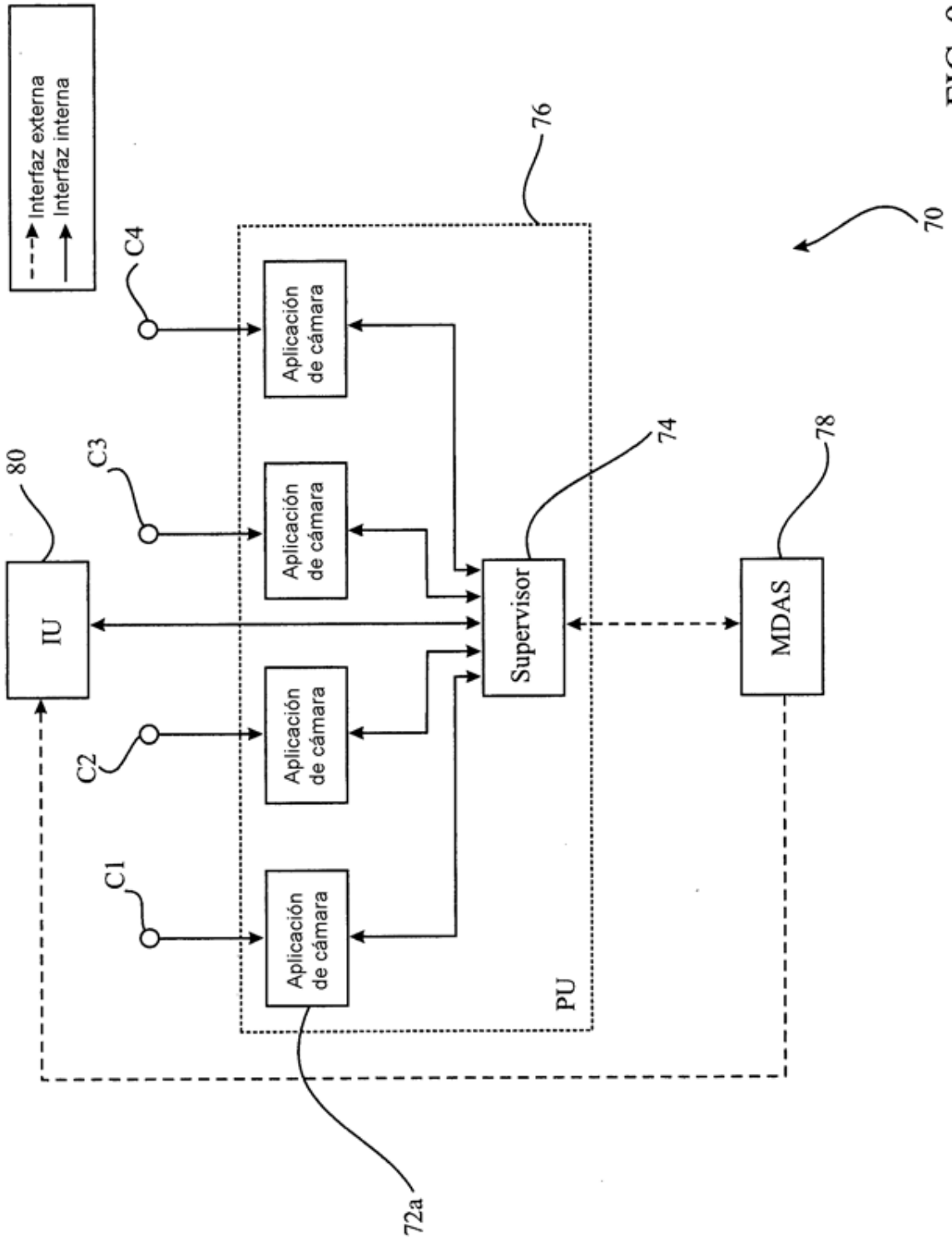


FIG. 9

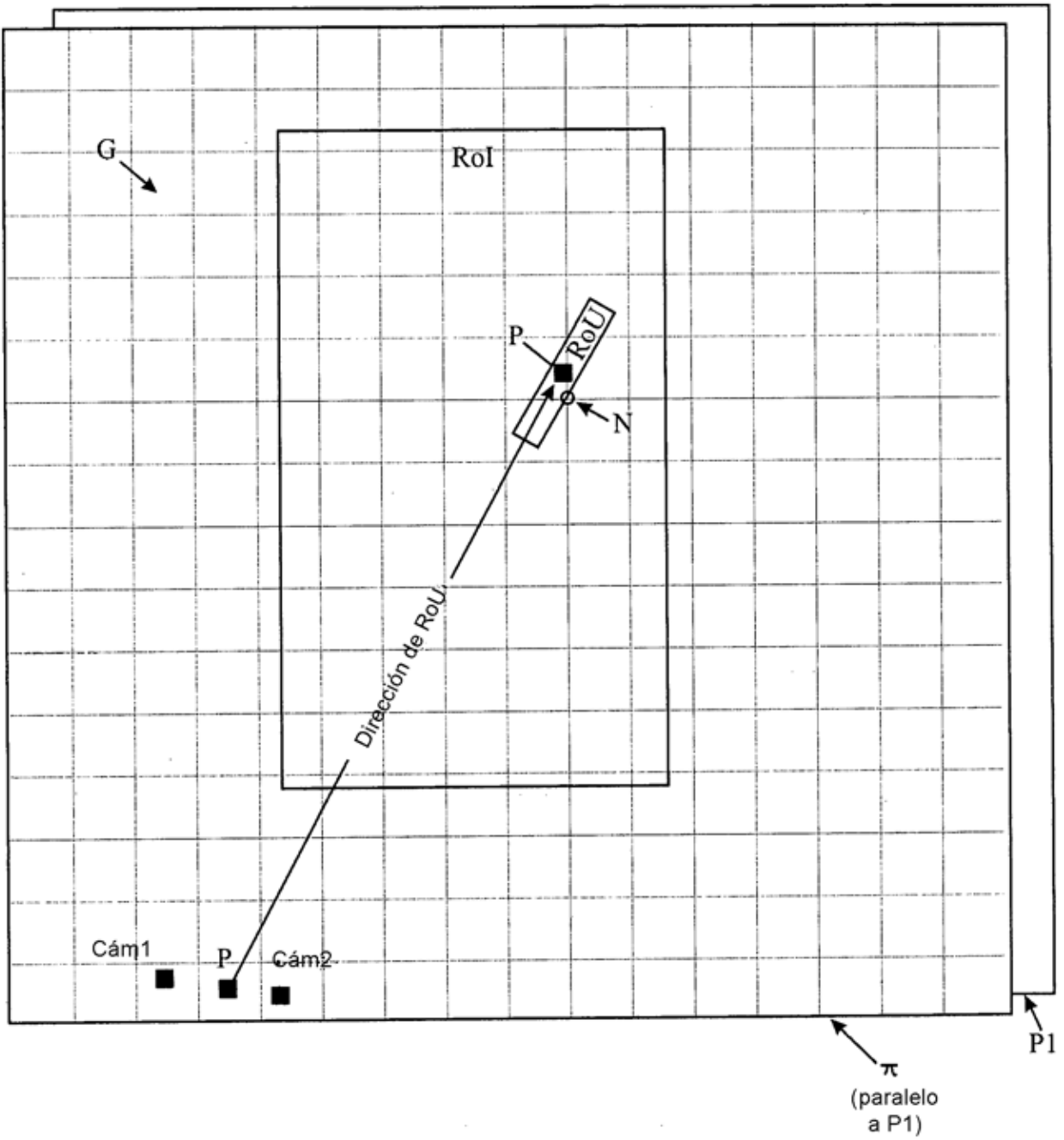


FIG. 10