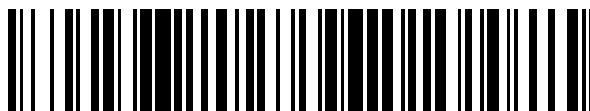


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 509**

51 Int. Cl.:

G01C 11/06 (2006.01)

G06T 17/05 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2014** **E 14165716 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2017** **EP 2910899**

54 Título: **Procedimiento y sistema para construir un modelo tridimensional a partir de imágenes de satélite**

30 Prioridad:

24.02.2014 US 201414188454

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

10.11.2017

73 Titular/es:

VRICON SYSTEMS AB (100.0%)
Hus 207-3
581 88 Linköping, SE

72 Inventor/es:

HAGLUND, LEIF;
NYGREN, OLA;
ISAKSSON, FOLKE y
BORG, JOHAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 641 509 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

Procedimiento y sistema para construir un modelo tridimensional a partir de imágenes de satélite

Campo técnico

5 La presente invención versa acerca de un sistema y un procedimiento para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta.

Técnica antecedente

10 Cuando se construye un modelo tridimensional (3D) de una parte de la superficie de la Tierra se puede utilizar un sistema de cámaras adecuado para proporcionar fotografías a partir de las cuales se pueden generar pares estereoscópicos. Entonces, se puede montar ese sistema de cámaras en un avión (a veces junto con un sistema de LIDAR para proporcionar cierta información de altitud; sin embargo, también son posibles otros sistemas de medición de la altitud). Se puede volar con el avión sobre el área de interés, tomar fotografías del área de interés junto con cierta información de altitud y luego procesar las fotografías junto con la información de altitud para conseguir un modelo tridimensional. Esto es bien conocido en el estado de la técnica.

15 Sin embargo, a veces no es posible utilizar aviones para proporcionar fotografías. Este puede ser el caso cuando no hay permiso para hacerlo; por ejemplo, debido a áreas de vuelo restringido. Otro ejemplo es que el área de interés sea demasiado remota para ser abarcada económicamente por aviones o que el área de interés sea demasiado grande para volar económicamente sobre ella con aviones. Este puede ser especialmente el caso cuando se debería proporcionar un modelo tridimensional de toda la superficie de la Tierra o al menos de las partes de la superficie de la Tierra que corresponden a la litosfera.

20 También se han construido modelos tridimensionales mediante imágenes tomadas por satélites. Sin embargo, los satélites son costosos de construir, de poner en órbita y de controlar. Los satélites existentes que tienen como objetivo proporcionar imágenes de la superficie de la Tierra son utilizados principalmente para proporcionar imágenes bidimensionales. En la actualidad solo se proporcionan pocos datos de imágenes de satélites como fotografías estereoscópicas y son utilizadas, por lo tanto, para construir modelos tridimensionales. Una razón es que un satélite tendría que tomar (al menos) dos fotografías de un área desde distintos ángulos. A menudo tiene una mayor prioridad que el satélite pueda tomar una fotografía de otra área en vez de la segunda fotografía de la misma área, consiguiendo, de esta manera, una mayor cobertura de la superficie de la Tierra.

25 En Armin Gruen et al.: "3D precision processing of high-resolution satellite imagery", congreso anual ASPRS 2005 "Geospatial Goes Global: From your neighborhood to the whole planet", 7-11 de marzo de 2005, se describe cómo se utilizan distintas imágenes de IKONOS para llevar a cabo un procesamiento tridimensional de una zona de Suiza. Se utilizan un par estereoscópico y un triplete con cierto solapamiento entre ellos. El triplete y el par estereoscópico son tratados por separado. Se originan en el mismo satélite.

Sumario de la invención

Un objeto de la presente divulgación es proporcionar una forma mejorada de construir modelos tridimensionales.

35 Según la invención, esto se ha conseguido mediante un procedimiento según la reivindicación 1. Una ventaja del procedimiento es que se pueden construir modelos tridimensionales de grandes áreas, especialmente áreas que son mucho mayores que una imagen ordinaria de satélite. No existe una necesidad de que exista un par estereoscópico del área de interés (lo que no excluye el uso de pares estereoscópicos también en el caso de que existan). Esto permite el uso de imágenes que han sido tomadas durante periodos de tiempo enormes; por ejemplo, años. Por lo tanto, se pueden utilizar más imágenes para construir el modelo tridimensional. Esto da lugar a una mayor precisión en el modelo tridimensional construido.

En un ejemplo, las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales son tomadas desde al menos dos satélites distintos.

45 Esto tiene la ventaja de que se pueden utilizar aún más fotografías. Por lo tanto, se puede aumentar la precisión del modelo tridimensional construido y/o se pueden construir modelos tridimensionales para áreas aún mayores, dado que un único satélite puede no cubrir todo el AOI con suficientes imágenes.

En un ejemplo se calcula una incertidumbre para los puntos antes de que se combinan los conjuntos de puntos. Al hacerlo, se puede conseguir una medida para la precisión del modelo tridimensional construido.

50 En un ejemplo, combinar los conjuntos de puntos comprende comparar los puntos correspondientes de cada conjunto de puntos y eliminar puntos que tienen una incertidumbre en su posición que es mayor que un valor predeterminado.

Los puntos con una incertidumbre elevada no son tan precisos como los puntos con una incertidumbre reducida. Por lo tanto, clasificarlos puede aumentar la precisión del modelo tridimensional construido.

5 En un ejemplo, combinar los conjuntos de puntos comprende calcular los valores medios ponderados entre los puntos correspondientes. Se ponderan los puntos según la incertidumbre de su posición. Se utilizan los valores medios ponderados de los puntos correspondientes para construir el modelo tridimensional de la parte del área de interés. Una ventaja de este procedimiento es que los puntos de incertidumbre reducida contribuyen más al modelo tridimensional que los puntos de incertidumbre elevada, aumentando, de esta manera, la calidad del modelo tridimensional.

10 En un ejemplo, combinar los conjuntos de puntos comprende eliminar puntos que se encuentran más lejos del centroide de los puntos correspondientes que un valor predeterminado.

Dado que los puntos que están lejos de otros puntos correspondientes son a menudo un resultado de errores en el cálculo, eliminar estos puntos aumenta la calidad del modelo tridimensional construido.

15 En un ejemplo, combinar los conjuntos de puntos comprende calcular el valor medio entre los puntos correspondientes. Se utilizan los valores medios de los puntos correspondientes para construir el modelo tridimensional de la parte del área de interés. Esto proporciona un cálculo rápido y sencillo.

20 En un ejemplo, se analizan las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales según una o más de las propiedades de la cubierta de nubes, de los ángulos desde los que se toma una imagen, de qué época del año se toma una imagen, de qué fecha se toma una imagen, de qué hora del día se toma una imagen, de qué resolución tiene una imagen, de qué satélite se toma una imagen, de en qué colores se toma una imagen. Se desestiman de un procesamiento adicional las imágenes que no satisfagan los requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente.

25 Esto garantiza que solo se utilizan imágenes compatibles, reduciendo, de esta manera, la probabilidad de que se hagan coincidir puntos a los que no se debería hacer coincidir (por ejemplo, dado que no se corresponden con los mismos puntos en realidad). Esto tiene como resultado menores errores y modelos tridimensionales de mejor calidad.

En un ejemplo, el planeta es la Tierra.

Proporcionar modelos tridimensionales de la Tierra tiene salidas para muchas aplicaciones.

En un ejemplo, las partes del área de interés se solapan al menos parcialmente.

30 Esto tiene como resultado un modelo tridimensional construido de alta calidad, dado que se reducen las discontinuidades.

35 En un ejemplo, se proporciona al menos una imagen adicional después de que se haya construido un modelo tridimensional. La al menos una imagen adicional se proporciona originalmente por al menos un satélite que tiene menos precisión en la determinación de la dirección en la que apunta que los satélites que proporcionaron originalmente las imágenes utilizadas para construir el modelo tridimensional. La al menos una imagen adicional no se incluye en la pluralidad de imágenes bidimensionales. Se utiliza el modelo tridimensional construido para rectificar la al menos una imagen adicional y se reconstruye el modelo tridimensional, en el que ahora la pluralidad de imágenes bidimensionales incluye también la al menos una imagen adicional.

40 Las imágenes tomadas por satélites con precisión reducida en la dirección en la que apuntan pueden tener una resolución y una calidad elevadas en otros parámetros. Al obrar como se ha descrito anteriormente, también se pueden utilizar estas imágenes adicionales para construir modelos tridimensionales y se pueden superar las desventajas de una menor precisión de direccionamiento que podría haber excluido estas imágenes de su uso a primera vista. Por lo tanto, el uso de estas imágenes adicionales tiene como resultado un modelo tridimensional mejorado.

45 En un ejemplo, el procedimiento de proporcionar al menos una imagen adicional después de que se construyese un modelo tridimensional, en el que al menos una imagen adicional satisface los anteriores requisitos, y el procedimiento de rectificación de la al menos una imagen adicional y de reconstruir el modelo tridimensional según se ha descrito anteriormente se repiten para varios conjuntos de imágenes adicionales.

Al hacerlo se obtiene un modelo tridimensional aún mejor.

50 También se consigue el objeto proporcionando un sistema según la reivindicación 10. Una ventaja del sistema es que se pueden construir modelos tridimensionales de grandes áreas que son mucho mayores que una imagen ordinaria de satélite. No hay necesidad de que exista un par estereoscópico del área de interés. Esto permite el uso de imágenes que han sido tomadas durante periodos de tiempo enormes. Por lo tanto, se pueden utilizar más

imágenes para construir el modelo tridimensional. Esto da lugar a una mayor precisión en el modelo tridimensional construido.

En un ejemplo, el elemento de procesamiento está dispuesto, adicionalmente, para analizar las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales según una o más de las propiedades de la cubierta de nubes, de los ángulos desde los que se toma una imagen, de qué época del año se toma una imagen, de qué fecha se toma una imagen, de qué hora del día se toma una imagen, de qué resolución tiene una imagen, desde qué satélite se toma una imagen, de en qué colores se toma una imagen. También se dispone desestimar imágenes de un procesamiento adicional que no satisfagan requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente.

Esto garantiza que solo se utilizan imágenes compatibles, reduciendo, de esta manera, la probabilidad de que se haga coincidir entre sí puntos que no se debería hacer que coincidieran entre sí (por ejemplo, dado que no se corresponden con los mismos puntos en realidad). Esto tiene como resultado una reducción de errores y modelos tridimensionales de mejor calidad.

En un ejemplo, se disponen la memoria o medios para tener acceso a una pluralidad de imágenes bidimensionales procedentes de satélites para proporcionar al menos una imagen adicional después de que se construyera un modelo tridimensional. Se proporciona originalmente la al menos una imagen adicional por al menos un satélite que tiene menos precisión en la determinación de la dirección en la que apunta que los satélites que proporcionaron originalmente las imágenes utilizadas para construir el modelo tridimensional. La al menos una imagen adicional no está incluida en la pluralidad de imágenes bidimensionales. El elemento de procesamiento está dispuesto, adicionalmente, para utilizar el modelo tridimensional construido para rectificar dicha al menos una imagen adicional, y para reconstruir el modelo tridimensional, en el que ahora la pluralidad de imágenes bidimensionales incluye también dicha al menos una imagen adicional.

Al hacerlo, se tiene como resultado un modelo tridimensional mejorado.

El objeto también se consigue mediante un programa de ordenador que comprende un código de programa para ejecutar el procedimiento para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta.

El objeto también se consigue mediante un producto de programa de ordenador que comprende un código de programa almacenado en un soporte legible por ordenador para ejecutar el procedimiento para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra un croquis esquemático sobre cómo pueden tomar imágenes los satélites de un área.

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para construir un modelo tridimensional según la presente invención.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para construir un modelo tridimensional para una parte del área de interés (AOI).

La Figura 4 muestra un croquis esquemático de puntos en un área.

La Figura 5 muestra un croquis esquemático sobre cómo se lleva a cabo una parte del procedimiento.

La Figura 6 muestra con más detalle un croquis esquemático sobre cómo se lleva a cabo una parte del procedimiento.

La Figura 7 es un croquis de un área de interés y de cómo pueden cubrirla las imágenes de satélites.

La Figura 8 muestra un ejemplo de un sistema para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta.

Descripción detallada

La siguiente descripción utilizará la superficie de la Tierra como un ejemplo ilustrativo para explicar los principios de la presente invención. Sin embargo, la invención no está limitada a la superficie de la Tierra y puede utilizarse con facilidad para la superficie de otros planetas. La palabra planeta también debería cubrir aquí y en todo el documento otros objetos en el espacio que tienen una masa suficientemente grande como para que los satélites pudieran orbitar en torno a los mismos. Un ejemplo tal es una luna.

Aquí, y a continuación se debería tratar el término imagen en un sentido amplio. En un ejemplo, imágenes hace referencia a fotografías. En un ejemplo, imágenes hace referencia a datos sin procesar de un dispositivo de formación de imágenes. En un ejemplo, imágenes hace referencia a datos procesados de un dispositivo de formación de imágenes. En un ejemplo, dichos datos sin procesar y/o procesados proceden de un dispositivo de formación de imágenes que tiene uno o más sensores. En un ejemplo, dichos uno o más sensores son del tipo de dispositivo acoplado por carga (CCD). En un ejemplo, dichos uno o más sensores son sensores de semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS). En un ejemplo, el dispositivo de formación de imágenes es sensible a la luz visible. En un ejemplo, el dispositivo de formación de imágenes es sensible a otras longitudes de onda distintas

de la luz visible, como luz infrarroja o ultravioleta. Se conoce en la técnica cómo convertir los distintos tipos de imágenes en otros tipos de imágenes.

La Figura 1 muestra un croquis esquemático bidimensional sobre cómo pueden tomar imágenes satélites de la superficie 80 de la Tierra. Se esbozan tres satélites 41, 42, 43. La Fig. 1 utiliza tres satélites para explicar el principio de la presente invención. Sin embargo, en general, se podría utilizar cualquier número de satélites. En un ejemplo, los tres satélites 41, 42, 43 son tres satélites distintos. En otro ejemplo, dos de los tres satélites 41, 42, 43 son el mismo satélite. En un ejemplo 41 y 42 son el mismo satélite, en otro ejemplo 41 y 43 son el mismo satélite y en otro ejemplo más 42 y 43 son el mismo satélite. En un ejemplo, los tres satélites 41, 42, 43 son el mismo. Los tres satélites 41, 42, 43 están dotados de dispositivos (no mostrados) de formación de imágenes que tienen capacidad para tomar imágenes de la superficie de la Tierra 80. En general, la superficie de la Tierra es distinta de un nivel 81 del mar. En un ejemplo, los dispositivos de formación de imágenes son cámaras. En un ejemplo, los dispositivos de formación de imágenes contienen uno o más sensores de barrido por líneas. En un ejemplo, los dispositivos de formación de imágenes contienen uno o más sensores de barrido de áreas. Cuando se hace referencia aquí y a continuación a cámaras, no se debería considerar que la invención esté limitada a cámaras. Las cámaras de los satélites 41, 42, 43 tienen campos 71c, 72, 73c de visión. Los campos de visión están limitados por las líneas correspondientes 71a, 71b para la cámara del satélite 41, por las líneas 72a, 72b para el satélite 42 y por las líneas 73a, 73b para el satélite 43. Dado que los satélites 41, 42, 43 no toman, en general, imágenes desde la misma posición en el cielo y, en general, no tienen la misma orientación, las imágenes tomadas desde los satélites 41, 42, 43 pueden no solaparse y, en general, no muestran exactamente la misma parte de la superficie de la Tierra. En el ejemplo de la Fig. 1, la imagen tomada por el satélite 43 cubre la sección de la superficie 80 de la Tierra que se indica con 82a, 82b, 82c y 82d cuando se proyecta hacia abajo hasta una superficie plana 81. La imagen tomada por satélite 42 consiste en la sección de la superficie 80 de la Tierra que se indica con 82c cuando se proyecta hacia abajo hasta una superficie plana 81. La imagen tomada por el satélite 41 consiste en la sección de la superficie 80 de la Tierra que se indica con 82b y 82c cuando se proyecta hacia abajo hasta una superficie plana 81. Los satélites no tienen que tener la misma órbita o la misma altitud. En un ejemplo, los satélites tienen distintas altitudes. Las imágenes de los satélites no tienen que ser tomadas al mismo tiempo. En un ejemplo, las imágenes de los satélites son tomadas en distintos momentos. En un ejemplo, se han tomado las imágenes de un satélite varios años después de las imágenes de otro satélite.

Los satélites tienen distintos ángulos α_1 , α_2 y α_3 cuando apuntan hacia la Tierra, definiéndose los ángulos α_1 , α_2 y α_3 como los ángulos entre una línea 51, 52, 53 desde el satélite hasta el centro de la Tierra y una línea central 61, 62, 63 para los campos 71c, 72c, 73c de visión de las cámaras. En el presente ejemplo, el ángulo α_2 es cero y, por lo tanto, no aparece escrito en la Fig. 1. Los ángulos tienen tanto una magnitud como un signo; por ejemplo, α_1 tiene un signo positivo y α_3 tiene un signo negativo. Es importante que los ángulos α_1 , α_2 y α_3 difieran entre sí. Si todos los ángulos α_1 , α_2 y α_3 fueran idénticos, sería imposible establecer una correspondencia útil de coincidencia de puntos entre las imágenes de los satélites, lo cual se necesitará en una etapa posterior. Esto es sabido en el estado de la técnica. Las diferencias entre los ángulos α_1 , α_2 y α_3 no deberían ser demasiado bajas para poder seguir viendo las diferencias. En un ejemplo, se prefiere una diferencia entre los ángulos de al menos 5° . Esto es para garantizar una buena precisión cuando se determina la altitud. Sin embargo, si no hay disponibles suficientes imágenes de satélite con esta diferencia angular mínima, pueden seguir usándose otras diferencias angulares.

En el ejemplo de la Fig. 1 no se puede construir un modelo tridimensional del área 82b con el procedimiento según la reivindicación 1, dado que se proporcionan dos imágenes de satélite (procedentes de los satélites 41 y 43) para esa área. En cambio, se puede construir un modelo tridimensional con el procedimiento según la reivindicación 1 del área 82c, dado que se proporcionan tres imágenes de satélite de esa área (procedentes de los satélites 41, 42 y 43). Para las áreas 82a y 82d no se puede construir un modelo tridimensional, dado que solo se proporciona una imagen de satélite (procedente del satélite 43).

La Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento 200 para construir un modelo tridimensional de un área de interés (AOI) en la superficie de un planeta según la presente invención. En un ejemplo, el AOI es un país o una parte del mismo. En un ejemplo, el AOI es una región o una parte de la misma. En un ejemplo, el AOI es una ciudad o una parte de la misma. En un ejemplo, el AOI es toda la Tierra. El procedimiento comienza en la etapa 210, en la que se proporciona una pluralidad de imágenes bidimensionales del AOI. Las imágenes bidimensionales del AOI son tomadas por satélites. Cuando se hace referencia a imágenes en lo que sigue, siempre se da por sentado que las imágenes son bidimensionales de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales tomadas desde los satélites, si no se indica explícitamente lo contrario. No todas las imágenes tienen que cubrir todo el AOI. En un ejemplo, al menos una imagen solo cubre una parte del AOI. En un ejemplo, esto es debido a que una parte de al menos una imagen está fuera del AOI. En un ejemplo, esto es debido a que el tamaño del área cubierta por al menos una imagen es menor que el tamaño del AOI. Sin embargo, es importante que cada subárea posible del AOI esté cubierta por tres o más imágenes. También es importante que al menos tres de estas tres o más imágenes sean tomadas desde distintos ángulos. Se han expuesto los ángulos con más detalle con respecto a la Fig. 1. En un ejemplo, el término proporcionar significa obtener acceso a imágenes ya tomadas en momentos anteriores en el tiempo; por ejemplo, obtener acceso a imágenes almacenadas en una base de datos y/o en un archivo. En un ejemplo, las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales están tomadas desde al menos dos satélites distintos.

Preferentemente, la cantidad de imágenes es tan grande como sea posible, dado que más imágenes podrían resultar en una mayor precisión del modelo tridimensional final, como será evidente más adelante. Como está claro por las Figuras 1 y 7, no todas las partes o posibles subáreas del AOI podrían ser cubiertas por la misma cantidad de imágenes.

5 En un ejemplo, la etapa 210 también incluye analizar las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales según una o más de las propiedades de la cubierta de nubes, de los ángulos desde los cuales se toma una imagen, de qué época del año se toma una imagen, de qué fecha se toma una imagen, de qué hora del día se toma una imagen, de qué resolución tiene una imagen, desde qué satélite se toma una imagen, de en qué colores se toma una imagen y desestimar imágenes de un procesamiento adicional que no satisfagan requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente. En un ejemplo, las imágenes que tienen más de una cubierta de nubes marginal en el AOI son clasificadas antes de un procesamiento adicional. En un ejemplo, se clasifican todas las imágenes con una cubierta de nubes de más de un porcentaje predeterminado de toda la imagen. En un ejemplo, solo se guardan las partes de una imagen que no tienen una cubierta de nubes. En un ejemplo, cuando hay presentes imágenes tomadas desde el mismo ángulo y que muestran la misma área, o básicamente la misma área, se eliminan algunas de ellas, o todas ellas menos una. En un ejemplo, se guarda la imagen más reciente. En un ejemplo, se guarda la imagen con mayor resolución. En un ejemplo, se guarda la imagen con la mayor precisión. Cuando se construye un modelo tridimensional de un área en el que las estaciones climáticas tienen un gran impacto sobre el aspecto de las imágenes del área, se pueden guardar o clasificar las imágenes según las estaciones en las que fueron tomadas. Un ejemplo son áreas que en el invierno están cubiertas normalmente de nieve y/o que tienen árboles de hoja caduca. En estas áreas el color puede cambiar entre las estaciones, pero también el perfil de altura. Si un área acumula mucha nieve en invierno, pero se mantienen las carreteras libres de nieve durante el invierno, el perfil de altura en esta área cambia durante las estaciones. En ese caso, es ventajoso elegir imágenes de únicamente una estación; por ejemplo, el verano. Incluso clasificar las imágenes según cualquier otro requisito predeterminado podría ser útil, si ese requisito tiene un impacto sobre el aspecto del AOI o sobre la posibilidad de construir modelos tridimensionales precisos más adelante en la etapa 240 o en la etapa 250. Sin embargo, aún se tiene que garantizar que cada parte del AOI esté cubierta por tres o más imágenes y que al menos tres de estas tres o más imágenes sean tomadas desde distintos ángulos. Si esto no se garantiza, el procedimiento puede terminar, en un ejemplo, después de esa etapa, lo que tiene como resultado la conclusión de que no se puede construir un modelo tridimensional del AOI con las imágenes disponibles. En otro ejemplo, se pueden hacer menos restrictivos los requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente para garantizar que se pueda construir un modelo tridimensional, aunque posiblemente con menos precisión.

El procedimiento continúa con la etapa 220.

En la etapa 220, se llevan a cabo ajustes de haz para la pluralidad de imágenes bidimensionales. Se conoce bien en la técnica cómo efectuar ajustes de haz. En el procedimiento de ajuste de haz se da consideración, en un ejemplo, al hecho de que se toman las imágenes desde distintos satélites. En un ejemplo, una consideración tal es que se modelan los parámetros internos y externos de los distintos satélites de forma distinta y/o pueden tomar distintos valores. En un ejemplo, se toman en consideración distintas precisiones de direccionamiento de los satélites cuando se llevan a cabo ajustes de haz. En un ejemplo, se toman en consideración modelos de sensores de los satélites cuando se llevan a cabo ajustes de haz. En un ejemplo, se llevan a cabo ajustes de haz sin puntos de control terrestre. En un ejemplo, se utiliza la información externa cuando se llevan a cabo ajustes de haz. En un ejemplo, se utilizan puntos de control terrestre y/u otros datos vectoriales cuando se llevan a cabo ajustes de haz. El procedimiento continúa con la etapa 230.

En la etapa 230 el AOI es dividido en partes. En un ejemplo, todas las partes tienen el mismo tamaño. En otro ejemplo, al menos algunas de las partes tienen distintos tamaños. En un ejemplo preferente, las partes se solapan. Esto será evidente más adelante con respecto a la etapa 250. En un ejemplo preferente, el tamaño de las partes es mucho menor que el tamaño medio del área que es cubierta por una imagen. En un ejemplo preferente, el tamaño de una parte del AOI es tan pequeño que hay una probabilidad reducida de que una o más imágenes solo cubran parcialmente esa parte del AOI. En otras palabras, hay una alta probabilidad de que cada imagen bien no cubra esa parte del AOI en absoluto o bien cubra totalmente esa parte del AOI. En un ejemplo preferente, el tamaño de una parte del AOI es tan pequeño que el número de imágenes que solo cubren parcialmente esa parte del AOI es mucho menor que el número de imágenes que cubren totalmente esa parte. Las ventajas de dividir el AOI de la forma mencionada anteriormente serán evidentes con respecto a la Fig. 3. El procedimiento continúa con la etapa 240.

En la etapa 240 se construye un modelo tridimensional para cada parte del AOI. Se describe con más detalle con respecto a la Fig. 3 cómo puede llevarse a cabo esto. En un ejemplo, los modelos tridimensionales para cada parte del AOI están contruidos consecutivamente. En otro ejemplo, los modelos tridimensionales para cada parte del AOI están contruidos en paralelo. El procedimiento continúa con la etapa 250.

En la etapa 250 se construye un modelo tridimensional de todo el AOI combinando los modelos tridimensionales procedentes de cada parte del AOI. Dado que se han construido modelos tridimensionales para todas las partes del AOI en la etapa 240, está presente toda la información necesaria para construir un modelo de todo el AOI. Dado que todos los modelos tridimensionales de las partes del AOI han sido calculados por separado, no es seguro que los

modelos tridimensionales “encajen” perfectamente entre sí. Especialmente si las partes del AOI son no solapantes, existe el riesgo de que el modelo tridimensional final de todo el AOI tenga ciertas discontinuidades (“saltos”) en los bordes en los que los modelos tridimensionales de las partes del AOI “encajan” entre sí. Esto es debido al hecho de que los valores de los modelos tridimensionales, que están cerca del borde de una parte del AOI y que fueron calculados en la etapa 240, tienen una mayor incertidumbre o menor precisión que los valores más alejados del borde. Por lo tanto, es ventajoso dividir el AOI en partes solapantes en la etapa 230. De esta forma, incluso los modelos tridimensionales de las partes del AOI se solapan. Entonces, se pueden ignorar los valores en el borde de los modelos tridimensionales de las partes del AOI y se consigue un modelo tridimensional más uniforme de todo el AOI. De forma alternativa o adicional, se puede tomar el valor medio o el valor medio ponderado de las partes solapantes del AOI para terminar en un modelo tridimensional común para todo el AOI. Además, se pueden utilizar otros procedimientos conocidos en el estado de la técnica para combinar modelos tridimensionales. El procedimiento termina después de la etapa 250.

Una ventaja del procedimiento es que todas las imágenes bidimensionales tomadas por satélites en cualquier momento anterior pueden ser utilizadas para construir un modelo tridimensional de un AOI. Si solo se satisfacen los requisitos de la etapa 210 no se tienen que tomar nuevas fotografías de satélite. Al combinar las imágenes tomadas desde distintos satélites, la cantidad de imágenes disponibles para construir modelos tridimensionales será aún mayor. Por una parte, esto tendrá como resultado que se pueden construir modelos tridimensionales para más áreas. Por otra parte, tendrá como resultado que la precisión de los modelos tridimensionales será mayor.

En un ejemplo, el procedimiento 200 no se detiene después de la etapa 250. En cambio, en la etapa 260 se proporcionará al menos una imagen adicional después de la etapa 250, proporcionándose originalmente dicha al menos una imagen adicional por medio de al menos un satélite que tiene menor precisión en la determinación de la dirección en la que apunta que los satélites que proporcionaron originalmente las imágenes utilizadas para construir el modelo tridimensional, y no incluyéndose dicha al menos una imagen adicional en la pluralidad de imágenes bidimensionales. Los satélites con menor precisión en la dirección en la que apuntan pueden proporcionar imágenes que normalmente no son útiles a la primera para construir modelos tridimensionales en general, o para ser usadas en el procedimiento 200 en especial, dado que no está claro, debido a la incertidumbre de la dirección en la que apuntan los satélites, qué parte de la superficie de la Tierra se muestra en estas imágenes. No obstante, las imágenes pueden tener una resolución y una precisión elevadas en otros parámetros, por lo que podrían ser útiles para mejorar un modelo tridimensional si solo se conociese su posición. Por lo tanto, en la etapa consecutiva 270 se utiliza el modelo tridimensional construido, en un ejemplo, para rectificar dicha al menos una imagen adicional. En un ejemplo, se utilizan ajustes de haz para rectificar dicha al menos una imagen adicional. En un ejemplo, se actualiza un modelo de satélite del o de los satélites que tomaron la al menos una imagen adicional. Entonces, se conoce la posición de la imagen y se supera la desventaja de una dirección menos precisa en la que apunta. Entonces, se puede reconstruir el modelo tridimensional según las etapas 210 a 250, en el que ahora la pluralidad de imágenes bidimensionales en el procedimiento de reconstrucción incluye también la al menos una imagen adicional. Dado que la al menos una imagen adicional puede proporcionar ahora información y/o precisión adicionales, el modelo tridimensional reconstruido puede utilizar esa información adicional, construyendo, de esta manera, un modelo tridimensional mejorado (es decir, más preciso) en el procedimiento de reconstrucción.

En un ejemplo, el procedimiento de incluir imágenes adicionales después de que se haya construido el modelo tridimensional, se repite varias veces rectificándolas, y reconstruyendo el modelo tridimensional con distintas imágenes adicionales.

La Fig. 3 muestra el procedimiento 300 para construir un modelo tridimensional de una parte del AOI. Realizar el procedimiento 300 para cada parte del AOI se corresponde con la realización de la etapa 240 del procedimiento 200. El procedimiento 300 comienza con la etapa 310. En la etapa 310 se toman todas las posibles combinaciones de dos imágenes de entre el mínimo de tres imágenes que cubren la parte del AOI, en el que dichas dos imágenes son tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales. En otras palabras, se comienza considerando todas las imágenes de la pluralidad de imágenes bidimensionales que cubren la parte del AOI. En un ejemplo preferente, el término cubrir significa cubrir totalmente. En otro ejemplo, el término cubrir hace referencia a cubrir parcialmente. Se simplifican los siguientes cálculos cuando se desestiman las imágenes que no cubren totalmente la parte del AOI. Sin embargo, se sigue teniendo que garantizar que queden al menos tres imágenes, tomadas desde distintos ángulos, que cubran toda la parte del AOI. Cuantas más imágenes queden, mejor, como será evidente más adelante. Para conseguir eso, se debe dar consideración a cómo dividir el AOI en partes, como se describe en conexión con la etapa 230. Si no quedan al menos tres imágenes, tomadas desde distintos ángulos, que cubran totalmente la parte del AOI, entonces no pueden desestimarse imágenes, o al menos no tantas. En aras de la sencillez, se da por sentado de aquí en adelante que quedan al menos tres imágenes, tomadas desde distintos ángulos, que cubren totalmente la parte del AOI. De aquí en adelante, solo es importante considerar la sección de las imágenes que se encuentra dentro de la parte del AOI. Ahora se toman todas las posibles combinaciones de dos imágenes, en el que las dos imágenes son tomadas de entre las al menos tres imágenes que quedan, tomadas desde distintos ángulos. Si solo quedan dos imágenes, entonces se puede tomar una combinación. Si se toman tres imágenes desde tres ángulos distintos, entonces se pueden tomar tres combinaciones distintas (según se muestra en la Fig. 5). En general, si quedan n imágenes, entonces se pueden tomar (como máximo) $(n^2-n)/2$ combinaciones. Si algunas de las imágenes tienen el o los mismos ángulos que son

muy cercanos entre sí, entonces no es útil tomar combinaciones de entre estas imágenes, dado que no se puede establecer ninguna correspondencia útil de coincidencia de puntos en la siguiente etapa de estas combinaciones. Por ejemplo, si dos imágenes de las tres tienen el mismo ángulo, entonces se pueden tomar las combinaciones entre las tres y cada una de las dos imágenes, pero no una combinación entre las dos imágenes con el mismo ángulo. En este ejemplo, por lo tanto, se pueden tomar únicamente dos combinaciones. El procedimiento continúa con la etapa 320. En la etapa 320, se establece una correspondencia de coincidencia de puntos para un conjunto de puntos para cada combinación de dos imágenes que han sido tomadas en la etapa 310. Aquí, y en todo el documento, cuando se hace referencia a puntos o a conjuntos de puntos siempre se dé por sentado, a no ser que se indique explícitamente lo contrario, que los puntos tienen coordenadas tridimensionales. Por lo tanto, cuando se hace referencia a una correspondencia de coincidencia de puntos, se da por sentado aquí, y en todo el documento, que este procedimiento dará lugar a puntos con coordenadas tridimensionales. Cada combinación de dos imágenes de la etapa 310 tendrá como resultado, por lo tanto, un conjunto de puntos. Por ejemplo, si quedaran dos imágenes en la etapa 31, lo que resultaría en una combinación posible de las imágenes en la etapa 310, entonces se genera un conjunto de puntos. Si se tomaran tres combinaciones en la etapa 310, entonces se generarán tres conjuntos de puntos, etcétera. El procedimiento de cómo establecer una correspondencia de coincidencia de puntos de una combinación de dos imágenes es bien conocido en la técnica. En un ejemplo, el establecimiento de una correspondencia de coincidencia de puntos incluye una extracción de puntos característicos. En un ejemplo, se utiliza la realización de ajustes de haz para establecer una correspondencia de coincidencia de puntos. En un ejemplo, la correspondencia de coincidencia de puntos está basada en píxeles de las imágenes. En un ejemplo, la coincidencia de puntos está basada en pequeñas áreas locales de las imágenes. Aquí, y en todo el documento, se debería tratar una correspondencia estereoscópica como un caso especial de coincidencia de puntos. Por lo tanto, en un ejemplo, la coincidencia de puntos comprende la correspondencia estereoscópica. En un ejemplo, se calcula una incertidumbre para cada conjunto de puntos. En un ejemplo, la incertidumbre no es la misma para todos los puntos en un conjunto de puntos (véase la Fig. 4). En un ejemplo, la incertidumbre está basada en parámetros de los satélites y/o en parámetros de las imágenes desde las cuales se originan los puntos. En un ejemplo, la incertidumbre está basada en la cubierta de nubes de las imágenes desde las cuales se originan los puntos. En un ejemplo, la incertidumbre está basada en la precisión y/o en la incertidumbre de los parámetros de los satélites y/o en parámetros de las imágenes a partir de las cuales se originan los puntos. En un ejemplo, el número de puntos en cada conjunto de puntos es distinto. El procedimiento continúa con la etapa 330.

En la etapa 330, se combinan los puntos para los cuales se estableció la correspondencia de coincidencia de puntos en la etapa 320. Se tienen que decidir algunas reglas sobre cómo efectuar esta combinación. En un ejemplo preferente, se comparan entre sí todos los puntos de los conjuntos de puntos que denotan el mismo punto tridimensional en el espacio. Esto implica que, como máximo, se compara un punto de cada conjunto de puntos. Por ejemplo, si se crearon tres conjuntos de puntos en la etapa 320, entonces se comparan, como máximo, tres puntos. En un ejemplo, se eliminan los puntos que tienen una incertidumbre que es mayor que un valor predeterminado. En un ejemplo, este valor predeterminado es un valor absoluto. En un ejemplo, este valor predeterminado es un valor relativo que depende de la incertidumbre de los otros puntos. En un ejemplo, se eliminan los puntos que se encuentran más alejados del centroide de los puntos correspondientes que un valor predeterminado. En un ejemplo, este valor predeterminado es un valor absoluto. En un ejemplo, este valor predeterminado es un valor relativo que depende de la distancia de los otros puntos hasta el centroide. En un ejemplo, la combinación de los puntos incluye calcular el valor medio entre los puntos correspondientes y usar los valores medios calculados de los puntos correspondientes para construir el modelo tridimensional de la parte del AOI. Una ventaja de esto es que el cálculo se hace sencillo y puede llevarse a cabo rápidamente. En un ejemplo, la combinación de los puntos incluye calcular el valor medio ponderado entre los puntos correspondientes y usar los valores medios ponderados calculados de los puntos correspondientes para construir el modelo tridimensional de la parte del AOI. En un ejemplo, se pondera el valor medio con la incertidumbre de los puntos. Una ventaja de ese ejemplo es que los puntos con una incertidumbre reducida contribuyen más al conjunto combinado de puntos que los puntos con una incertidumbre elevada. La etapa de combinar los conjuntos de puntos tiene como resultado un conjunto final de puntos que será utilizado, entonces, en la siguiente etapa. En la Fig. 6 se muestra un ejemplo ilustrativo de la etapa 330. El procedimiento continúa con la etapa 340.

En la etapa 340, se construye un modelo tridimensional de la parte del AOI en función de los puntos combinados, es decir, en función del conjunto final de puntos. Se conoce en la técnica cómo construir un modelo tridimensional de entre un conjunto de puntos. El procedimiento termina después de la etapa 340.

Una ventaja del procedimiento mencionado anteriormente es que el número de conjuntos de puntos que pueden contribuir a los puntos combinados en la etapa 330 se corresponde con el número de combinaciones de imágenes en la etapa 310. Por lo tanto, cuando los ángulos desde los cuales se tomaron las imágenes no están demasiado cercanos entre sí, contar con n imágenes tendrá como resultado $(n^2-n)/2$ conjuntos de puntos. En otras palabras, hasta el primer orden, el número de puntos crece cuadráticamente con el número de imágenes. Esto proporciona un gran aumento en la precisión del modelo tridimensional resultante para la parte del AOI y, por lo tanto, para todo el modelo tridimensional.

El modelo tridimensional podría ser cualquier tipo de modelo tridimensional conocido por los expertos en la técnica. En un ejemplo, se representa el modelo tridimensional como una malla. En otro ejemplo, se representa el modelo

tridimensional como una representación superficial. En otro ejemplo, se representa el modelo tridimensional como una representación de vóxeles. En un ejemplo, el modelo tridimensional incluye información de textura. En un ejemplo, el modelo tridimensional es una nube de puntos.

La Fig. 4 muestra un corte bidimensional del aspecto que pueden tener los puntos para los cuales se ha establecido una correspondencia de puntos en un área. En este ejemplo, se esbozan tres puntos 91a, 91b, 91c. Cuando se lleva a cabo la invención, el número de puntos que se utiliza es normalmente mucho mayor que tres. Sin embargo, aquí, con fines ilustrativos, solo se muestran tres pares. En un ejemplo, se atribuye una incertidumbre 92a, 92b, 92c a cada punto 91a, 91b, 91c. La incertidumbre puede ser distinta para distintos puntos, según se indica en la figura. La incertidumbre también está en la tercera dimensión (no mostrada en la figura). En un ejemplo, la incertidumbre es distinta en distintas direcciones (no indicadas en la figura).

La Fig. 5 muestra un croquis esquemático de un ejemplo de la invención para proporcionar un modelo tridimensional para una parte de un área de interés, AOI. En este ejemplo de la invención, se proporcionan para la parte del AOI tres imágenes 111, 112, 113 tomadas desde tres ángulos distintos. Entonces, en la etapa 310 del procedimiento 300, se toman todas las combinaciones posibles de dos imágenes de estas tres imágenes, es decir, la imagen 121 es una combinación de la imagen 111 y de la imagen 112, la imagen 122 es una combinación de la imagen 111 y de la imagen 113, y la imagen 123 es una combinación de la imagen 112 y de la imagen 113. Para esas tres combinaciones 121, 122, 123 se generan entonces puntos según se ha descrito anteriormente. Finalmente, se combinan, entonces, los puntos en un único conjunto de puntos 130.

La Fig. 6 es un ejemplo esquemático de cómo se pueden combinar los puntos. Las imágenes combinadas 121, 122, 123 se corresponden con las imágenes combinadas de la Fig. 5. Para cada imagen combinada se generarán puntos como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 3. Aquí, como ejemplo, se generan cuatro puntos en cada imagen combinada; por ejemplo, los puntos 121a, 121b, 121c, 121d en la imagen combinada 121. En la práctica, según se ha mencionado anteriormente, el número de puntos será normalmente mucho mayor que eso y, con fines ilustrativos, aquí solo está limitado a cuatro. También se generan puntos en las imágenes combinadas 122, 123. Los números de referencia han sido omitidos para no sobrecargar la Fig. 6. En un ejemplo, se calcula una incertidumbre para los puntos, según se indica para el punto 121d. No se muestra aquí la tercera dimensión para no sobrecargar la figura. Se han omitido posibles incertidumbres para los otros puntos 121a, 121b, 121c para no sobrecargar la Fig. 6. En un ejemplo, en la siguiente etapa se eliminan los puntos 141, 142, 143 para cada imagen combinada 121, 122, 123 según algunos criterios como se ha descrito anteriormente con más detalle. En el ejemplo de la Fig. 6 se ha eliminado un punto en la etapa 142 de la imagen combinada 122 dado que la incertidumbre de este punto era mayor que la incertidumbre de los puntos correspondientes en las otras imágenes combinadas 121, 123. En el ejemplo de la Fig. 6, se ha eliminado otro punto en la etapa 143 de la imagen combinada 123 dado que la distancia entre ese punto y el centroide definido por el punto 121b y los puntos correspondientes en las otras imágenes combinadas 122 y 123 es mucho mayor que la distancia de los puntos correspondientes en las imágenes combinadas 121 y 123 hasta ese centroide. Finalmente, los puntos se combinan según se ha descrito en la etapa 330 de la Fig. 3. En un ejemplo, se toman los valores medios en la posición entre los puntos correspondientes. Entonces, se considera que estos valores medios son el conjunto final de puntos. En el ejemplo de la Fig. 6, se ha calculado el conjunto final de puntos 130a, 130b, 130c, 130d tomando el valor medio del punto 121a y los otros dos puntos correspondientes en 152 y 153 para lograr el punto 130a, tomando el valor medio del punto 121b y el otro punto correspondiente en 152 para lograr el punto 130b, tomando el valor medio del punto 121c y los otros dos puntos correspondientes en 152 y 153 para lograr el punto 130c, y tomando el valor medio del punto 121d y el otro punto correspondiente en 153 para lograr el punto 130d.

La Fig. 7 muestra un croquis de un área 700 de interés y de cómo pueden cubrirla normalmente las imágenes procedentes de satélites. En la Fig. 7 las imágenes procedentes de satélites son dibujadas con líneas más delgadas que el AOI. Algunas partes del AOI están cubiertas por más imágenes que otras partes. Algunas imágenes, como la imagen 701, se encuentran parcialmente fuera del AOI, y parcialmente en la misma. Otras imágenes, como 702 se encuentran completamente dentro del AOI. En un ejemplo, una imagen cubre toda el AOI (no mostrada en la Fig. 7). En el ejemplo de la Fig. 7, algunas de las imágenes tienen distintos tamaños. En un ejemplo (no mostrado), las imágenes tienen distintas orientaciones y/o distintas formas. En un ejemplo, al menos algunas de las imágenes son tomadas desde distintos satélites. En un ejemplo, muchas más imágenes que las indicadas en la Fig. 7 están cubriendo, al menos parcialmente, el AOI.

La Fig. 8 muestra un sistema 800 para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta. El sistema comprende una memoria 810 o medios para tener acceso a una pluralidad de imágenes bidimensionales procedentes de satélites, en el que cada imagen bidimensional de la pluralidad de imágenes bidimensionales cubre, al menos parcialmente, el área de interés, y estando cubierta cada subárea del área de interés por al menos tres imágenes, tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales. En un ejemplo, la memoria 810 comprende la pluralidad de imágenes bidimensionales. En un ejemplo, el sistema comprende medios para tener acceso a la pluralidad de imágenes bidimensionales. En un ejemplo, se almacena la pluralidad de imágenes bidimensionales en una base de datos. En un ejemplo, se almacena la pluralidad de imágenes bidimensionales en una o más ubicaciones remotas y los medios para tener acceso a la pluralidad de imágenes bidimensionales están dispuestos para suministrar la pluralidad de imágenes

bidimensionales mediante una red disponible. En un ejemplo, se suministra la pluralidad de imágenes bidimensionales mediante una comunicación inalámbrica. En un ejemplo, se suministra la pluralidad de imágenes bidimensionales mediante una combinación alámbrica. El acceso a la pluralidad de imágenes bidimensionales se proporciona, en un ejemplo, por medio de una interfaz (no mostrada en la figura).

- 5 El sistema 800 comprende, además, un elemento 820 de procesamiento. El elemento 820 de procesamiento está dispuesto para llevar a cabo un ajuste de haz para la pluralidad de imágenes bidimensionales. El elemento de procesamiento está dispuesto, además, para dividir el área de interés en partes, y, para cada parte del área de interés, tomar todas las posibles combinaciones de dos imágenes de entre el mínimo de tres imágenes que cubren esa parte del área de interés, tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales,
- 10 para establecer una correspondencia de coincidencia de puntos para un conjunto de puntos para cada combinación tal de dos imágenes, para combinar los conjuntos de puntos y para construir un modelo tridimensional de dicha parte del área de interés en función del conjunto combinado de puntos. El elemento 820 de procesamiento está dispuesto, aún más, para combinar los modelos tridimensionales procedentes de cada parte del área de interés en un modelo tridimensional de toda el área de interés.
- 15 En un ejemplo, el elemento 820 de procesamiento está dispuesto, además, para analizar las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales según una o más de las propiedades de la cubierta de nubes, de los ángulos desde los cuales se toma una imagen, de qué época del año se toma una imagen, de qué fecha se toma una imagen, de qué hora del día se toma una imagen, de qué resolución tiene una imagen, de qué satélite se toma una imagen, de en qué colores se toma una imagen y para desestimar imágenes de un procesamiento adicional que
- 20 no satisfagan requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente. En un ejemplo, la memoria 810 o los medios para tener acceso a una pluralidad de imágenes bidimensionales procedentes de satélites están dispuestos, además, para proporcionar al menos una imagen adicional después de que se haya construido un modelo tridimensional, proporcionándose originalmente dicha al menos una imagen adicional por al menos un satélite que tiene menos precisión en la determinación de la dirección en la que apunta que los satélites que proporcionaron originalmente las imágenes utilizadas para construir el modelo tridimensional, y no incluyéndose dicha al menos una imagen adicional en la pluralidad de imágenes bidimensionales. En este ejemplo, el elemento 820 de procesamiento está dispuesto, además, para utilizar el modelo tridimensional construido para rectificar dicha al menos una imagen adicional, y para reconstruir el modelo tridimensional. La reconstrucción del modelo tridimensional se lleva a cabo de la misma forma que se construyó el anterior modelo tridimensional (véase la Fig.
- 25 2), en el que ahora la pluralidad de imágenes bidimensionales incluye también dicha al menos una imagen adicional.
- En un ejemplo, el elemento 820 de procesamiento comprende una o más unidades de procesamiento. En un ejemplo, el elemento de procesamiento comprende varias unidades de procesamiento. En un ejemplo, las unidades de procesamiento están situadas en ubicaciones remotas y dispuestas para comunicarse entre sí.
- 35 El sistema 800 comprende, en un ejemplo, un programa de ordenador que comprende un código de programa para ejecutar el procedimiento para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta.
- En un ejemplo, el sistema 800 también comprende una unidad 830 de presentación. La unidad de presentación está dispuesta para presentar el modelo tridimensional construido. En un ejemplo, la unidad 830 de presentación es un medio de visualización. En un ejemplo, la unidad 830 de presentación es una pantalla. En un ejemplo, la unidad 830 de presentación es una impresora. En un ejemplo, la unidad 830 de presentación es un proyector. En un ejemplo, la
- 40 unidad 830 de presentación está dispuesta para recibir información del elemento 820 de procesamiento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (200) para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 - proporcionar (210) una pluralidad de imágenes bidimensionales procedentes de satélites, en el que cada imagen bidimensional de la pluralidad de imágenes bidimensionales cubre, al menos parcialmente, el área de interés, y en el que cada subárea del área de interés está cubierta por un mínimo de tres imágenes, tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales;
 - llevar a cabo (220) ajustes de haz para la pluralidad de imágenes bidimensionales;
 - dividir (230) el área de interés en partes, **caracterizado por**, para cada parte del área de interés:
 - 10 - tomar (310) todas las posibles combinaciones de dos imágenes de entre el mínimo de tres imágenes que cubren esa parte del área de interés, tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales; y
 - establecer (320) una correspondencia de coincidencia de puntos para cada combinación de dos imágenes, de forma que se logre un conjunto de puntos para cada combinación;
 - 15 - combinar (330) los conjuntos de puntos para los cuales se estableció una correspondencia de coincidencia de puntos, de forma que se logre un conjunto final de puntos;
 - construir (240; 340) un modelo tridimensional de dicha parte del área de interés en función del conjunto final de puntos; y
 - 20 - combinar (250) los modelos tridimensionales procedentes de cada parte del área de interés en un modelo tridimensional de toda el área de interés, en el que las imágenes de la pluralidad de imágenes bidimensionales son tomadas desde al menos dos satélites distintos.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que se calcula una incertidumbre para los puntos antes de combinar los conjuntos de puntos.
3. Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa de combinar los conjuntos de puntos comprende comparar los puntos correspondientes procedentes de cada conjunto de puntos y eliminar (141, 142, 143) puntos que tienen una incertidumbre en su posición que es mayor que un valor predeterminado.
4. Un procedimiento según la reivindicación 2 o 3, en el que la etapa de combinar los conjuntos de puntos comprende calcular los valores medios ponderados en la posición de los puntos correspondientes (130a, 130b, 130c, 130d), en el que los puntos se ponderan según la incertidumbre de su posición, y utilizar los valores medios ponderados en la posición de los puntos correspondientes para construir el modelo tridimensional de la parte del área de interés.
5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de combinar los conjuntos de puntos comprende calcular el valor medio en la posición de los puntos correspondientes (130a, 130b, 130c, 130d) y utilizar los valores medios en la posición de los puntos correspondientes para construir el modelo tridimensional de la parte del área de interés.
6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además, las etapas de analizar las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales según una o más de las propiedades de la cubierta de nubes, de los ángulos desde los cuales se toma una imagen, de qué época del año se toma una imagen, de qué fecha se toma una imagen, de qué hora del día se toma una imagen, de qué resolución tiene una imagen, de qué satélite se toma una imagen, de en qué colores se toma una imagen; y de desestimar las imágenes de un procesamiento adicional que no satisfagan los requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente.
7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las partes del área de interés se solapan al menos parcialmente.
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye, además, las etapas de
 - 45 - proporcionar (260) al menos una imagen adicional después de que se haya construido un modelo tridimensional, proporcionándose originalmente dicha al menos una imagen adicional por al menos un satélite que tiene menos precisión en la determinación de la dirección en la que apunta que los satélites que proporcionaron originalmente las imágenes utilizadas para construir el modelo tridimensional, y no incluyéndose dicha al menos una imagen adicional en la pluralidad de imágenes bidimensionales;
 - 50 - utilizar (270) el modelo tridimensional construido para rectificar dicha al menos una imagen adicional; y
 - reconstruir (200) el modelo tridimensional según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que ahora la pluralidad de imágenes bidimensionales incluye también dicha al menos una imagen adicional.
9. Un procedimiento según la reivindicación 8, en el que se repiten las etapas adicionales de la reivindicación 8 para varios conjuntos de imágenes adicionales.

10. Un sistema (800) para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta (80), comprendiendo el sistema:

- una memoria (810) o medios que tienen acceso a una pluralidad (111, 112, 113) de imágenes bidimensionales procedentes de satélites (41, 42, 43), en el que cada imagen bidimensional de la pluralidad de imágenes bidimensionales cubre, al menos parcialmente, el área de interés, y en el que cada subárea del área de interés está cubierta por un mínimo de tres imágenes, tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales; y
- un elemento (820) de procesamiento dispuesto para llevar a cabo un ajuste de haz para la pluralidad de imágenes bidimensionales, para dividir el área de interés en partes, **caracterizado porque** el elemento de procesamiento está dispuesto, además, para que cada parte del área de interés, tome todas las combinaciones posibles (121, 122, 123) de dos imágenes de entre el mínimo de tres imágenes (111, 112, 113) que cubren esa parte del área de interés, tomadas desde distintos ángulos, de entre la pluralidad de imágenes bidimensionales, para establecer una correspondencia de coincidencia de puntos para cada combinación de dos imágenes, de forma que se logre un conjunto de puntos para cada combinación, para combinar los conjuntos de puntos (130) para los cuales se estableció una correspondencia de puntos, de forma que se logre un conjunto final de puntos, y para construir un modelo tridimensional de dicha parte del área de interés en función del conjunto final de puntos (130); y en el que el elemento (820) de procesamiento está dispuesto, además, para combinar los modelos tridimensionales procedentes de cada parte del área de interés en un modelo tridimensional de toda el área de interés, **caracterizado**, además, **porque** las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales están tomadas desde al menos dos satélites distintos.

11. El sistema de la reivindicación 10, en el que el elemento (820) de procesamiento está dispuesto, además, para analizar las imágenes en la pluralidad de imágenes bidimensionales según una o más de las propiedades de la cubierta de nubes, de los ángulos desde los cuales se toma una imagen, de qué época del año se toma una imagen, de qué fecha se toma una imagen, de qué hora del día se toma una imagen, de qué resolución tiene una imagen, de qué satélite se toma una imagen, de en qué colores se toma una imagen y para desestimar imágenes de un procesamiento adicional que no satisfagan requisitos predeterminados sobre las propiedades mencionadas anteriormente.

12. El sistema de la reivindicación 10 u 11, en el que la memoria (810) o los medios para tener acceso a una pluralidad de imágenes bidimensionales procedentes de satélites están dispuestos, además, para proporcionar al menos una imagen adicional después de que se haya construido un modelo tridimensional, proporcionándose originalmente dicha al menos una imagen adicional por al menos un satélite que tiene menos precisión en la determinación de la dirección en la que apunta que los satélites que proporcionaron originalmente las imágenes utilizadas para construir el modelo tridimensional, y no incluyéndose dicha al menos una imagen adicional en la pluralidad de imágenes bidimensionales; y en el que el elemento de procesamiento está dispuesto, además, para utilizar el modelo tridimensional construido para rectificar dicha al menos una imagen adicional, y para reconstruir el modelo tridimensional, en el que ahora la pluralidad de imágenes bidimensionales incluye también dicha al menos una imagen adicional.

13. Un programa de ordenador que comprende un código de programa para ejecutar el procedimiento para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta según cualquiera de las reivindicaciones 1-9.

14. Un producto de programa de ordenador que comprende un código de programa almacenado en un soporte legible por ordenador para ejecutar el procedimiento para construir un modelo tridimensional de un área de interés en la superficie de un planeta según cualquiera de las reivindicaciones 1-9.

Fig. 1

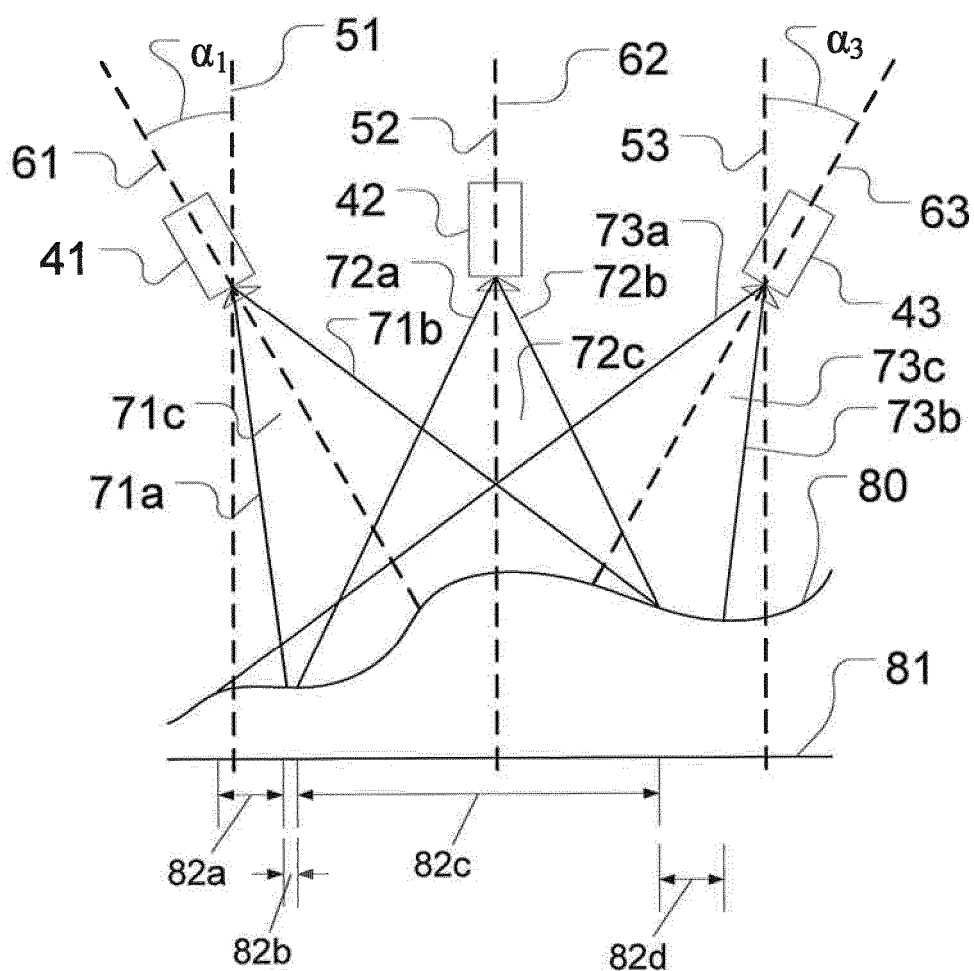
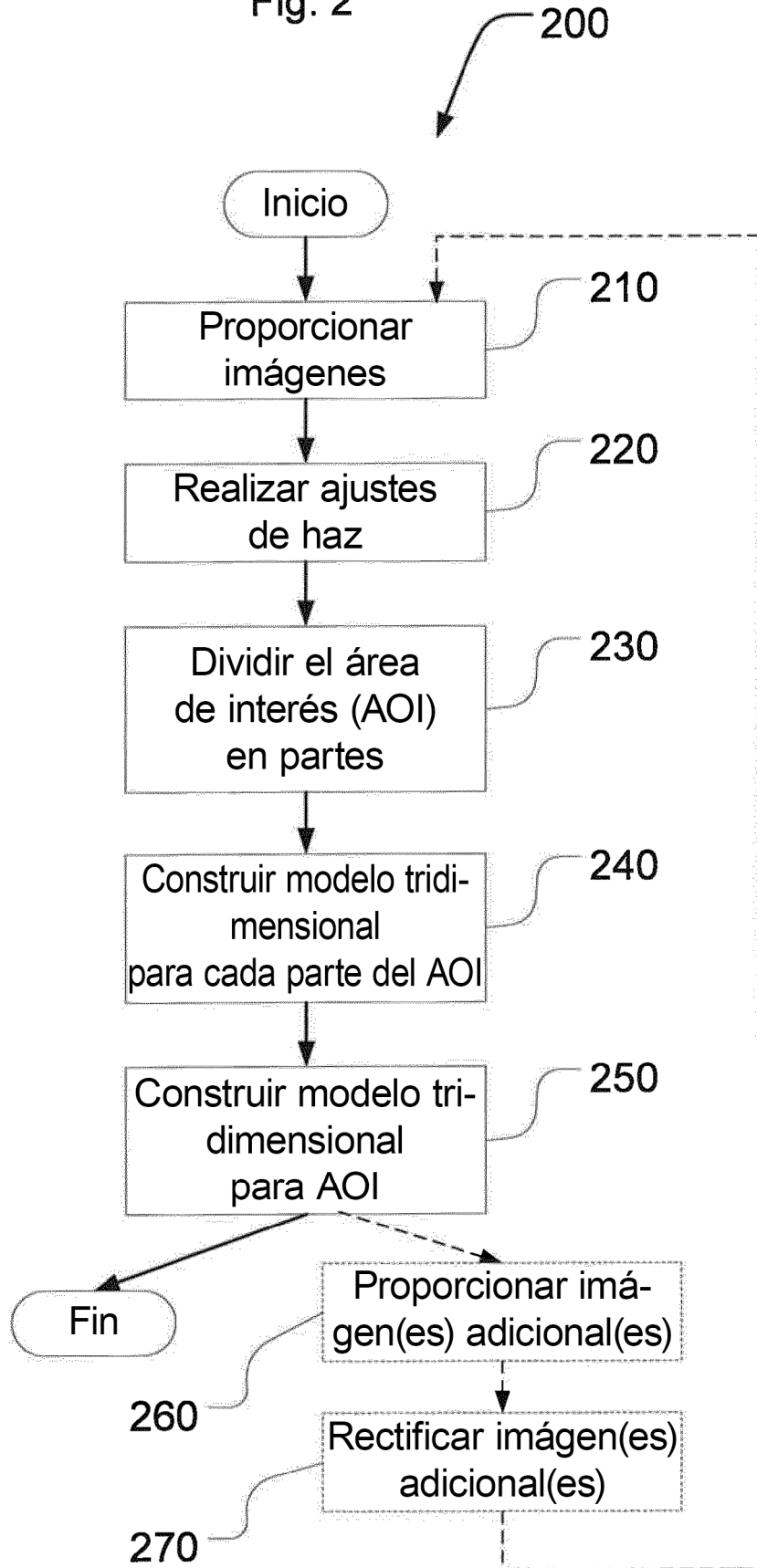


Fig. 2



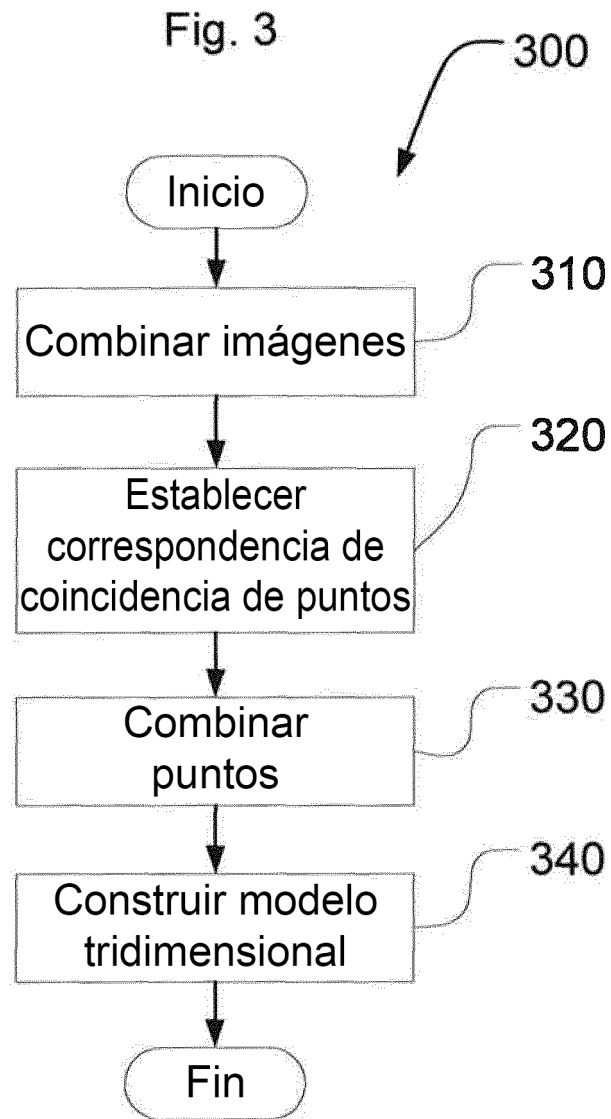


Fig. 4

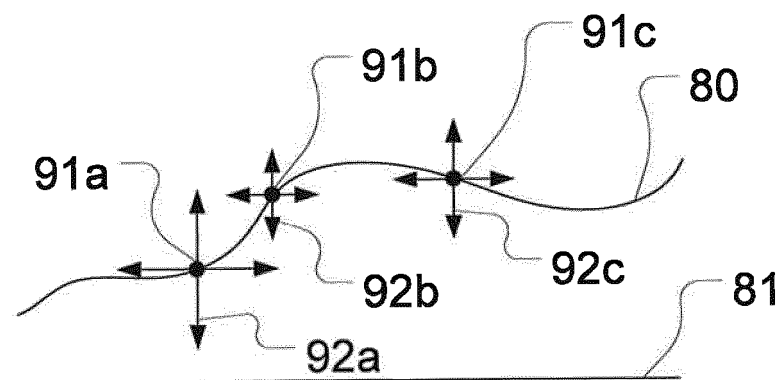


Fig. 5

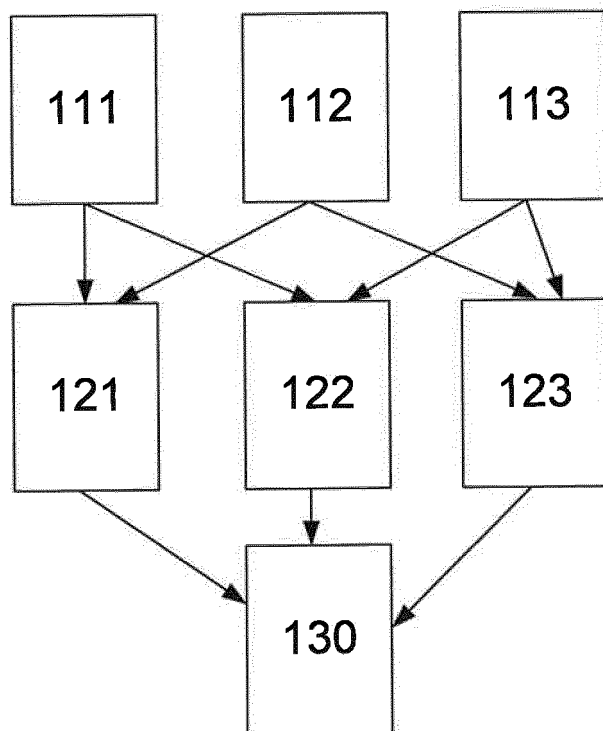


Fig. 6

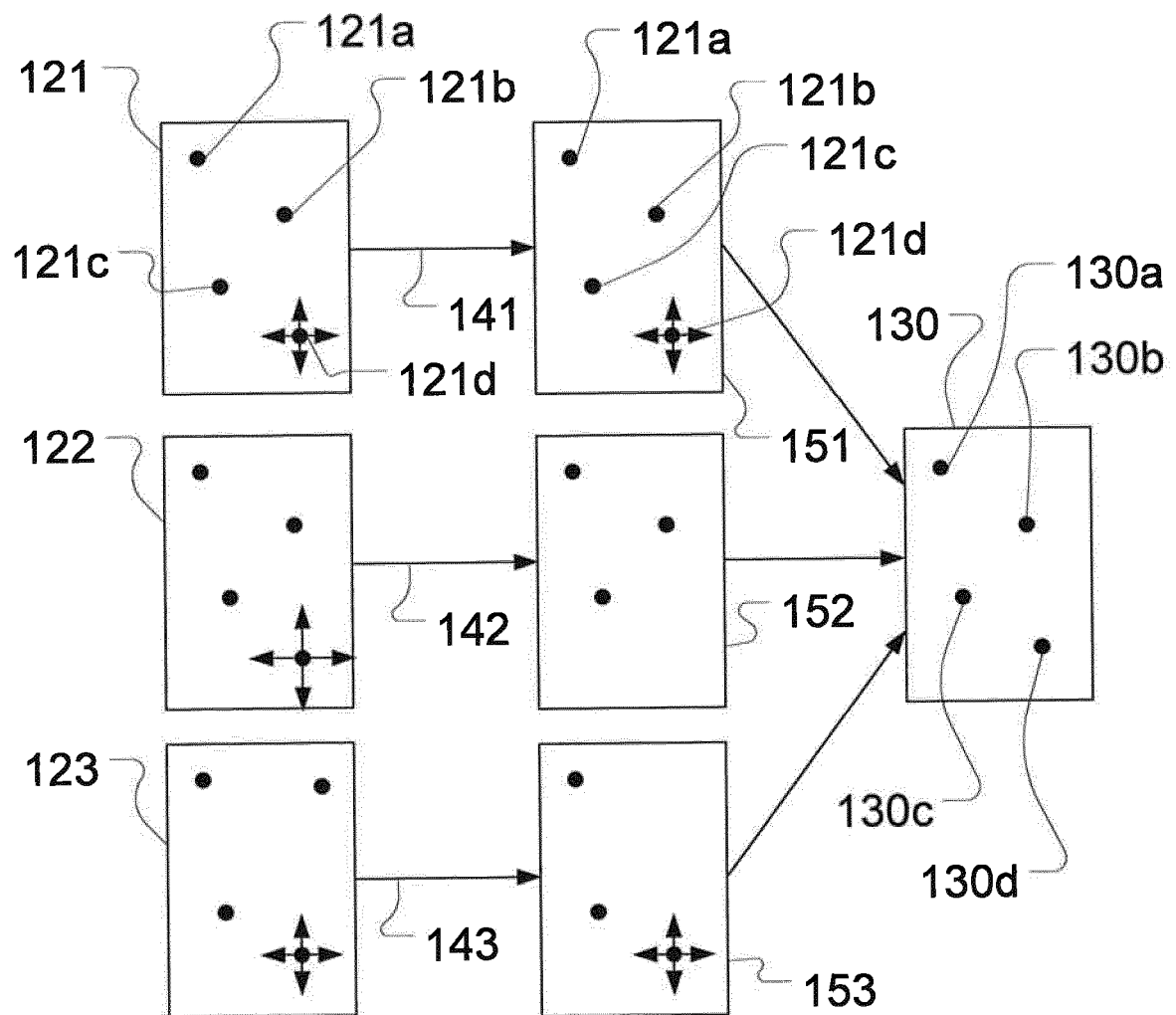


Fig. 7

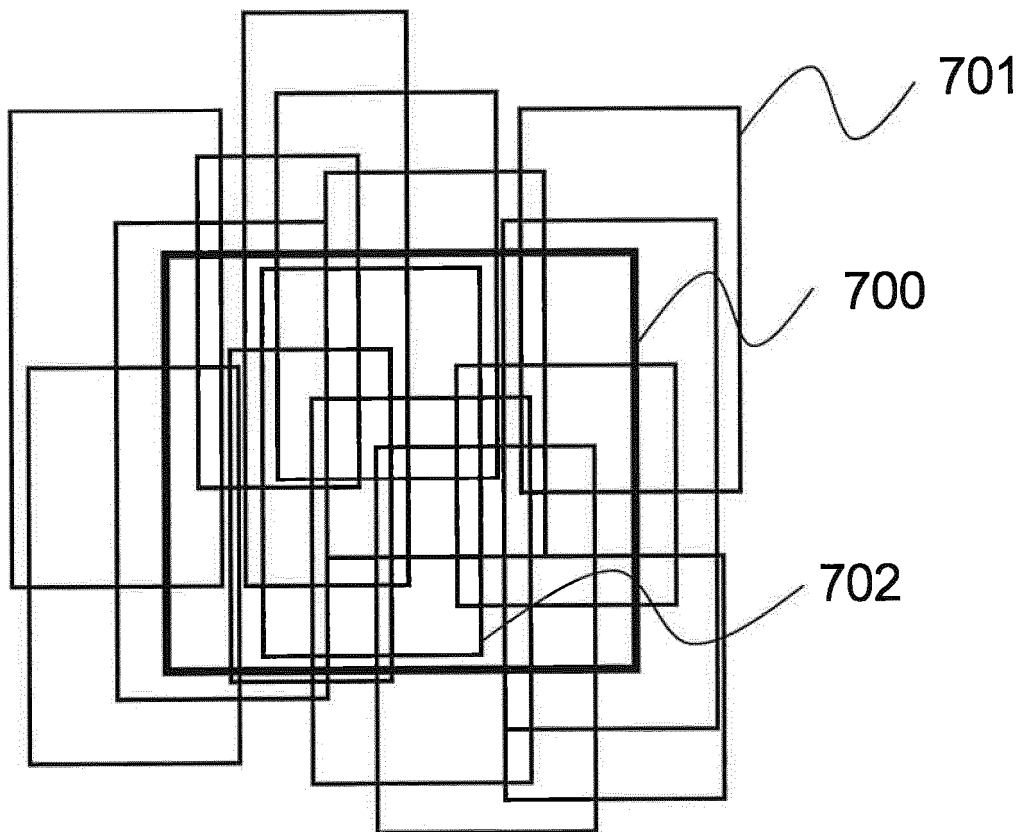


Fig. 8

