(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 900 027**

(51) Int. CI.:

G01C 11/00 (2006.01)
B64G 1/10 (2006.01)
G06Q 10/04 (2012.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2018 PCT/EP2018/069707**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2019 WO19020499**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2018 E 18740244 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.10.2021 EP 3658851**

(54) Título: **Dispositivo y procedimiento de simulación de la estimación de un retardo en la realización de imágenes satelitales de la Tierra**

(30) Prioridad:

27.07.2017 FR 1757161

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.03.2022

(73) Titular/es:

AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (50.0%)
31 rue des Cosmonautes, ZI du Palays
31402 Toulouse Cedex 4, FR y
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES (C N E S) (50.0%)

(72) Inventor/es:

AMSELEM, CÉCILIA;
VILLEMÉJEANNE, ERIC y
ANGULO, JEAN-CHRISTOPHE

(74) Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

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

Dispositivo y procedimiento de simulación de la estimación de un retardo en la realización de imágenes satelitales de la Tierra

Sector de la técnica

La presente invención se refiere al campo de la teledetección por satélite. Más específicamente, se refiere a un dispositivo y a un procedimiento de simulación de la estimación de un retardo en la realización de imágenes satelitales de la Tierra mediante técnicas de adquisición óptica.

Estado de la técnica

El espacio circunterrestre contiene una serie de satélites de observación de la Tierra que permiten, en concreto, monitorizar los parámetros del sistema terrestre (océanos, atmósferas, recursos naturales, impactos de las actividades humanas, etc.), para obtener mapas o proporcionar información que permita garantizar la defensa de los Estados. Para ello, estos sistemas se basan en un conjunto de datos de obtención de imágenes satelitales, es decir, un conjunto de mediciones realizadas con la ayuda de instrumentos integrados en los satélites.

Como resultado de la trivialización de la observación de la Tierra, las solicitudes de obtención de imágenes satelitales se multiplican día a día. Sin embargo, algunos de los recursos de los satélites son limitados, como la cantidad de disparos que pueden tomarse durante un vuelo sobre una zona del globo o incluso la capacidad de transmisión de los datos a tierra. Por tanto, es necesario planificar la utilización de estos recursos a largo plazo al tiempo que se responde a las solicitudes de obtención de imágenes satelitales.

El retardo requerido para la realización de una solicitud de obtención de imágenes satelitales (en inglés, “time-to-acquire”) constituye uno de los elementos que permite elaborar una programación de este tipo. Un retardo de este tipo corresponde al tiempo transcurrido entre la activación de una solicitud de obtención de imágenes satelitales y la entrega de los resultados de la obtención de imágenes al cliente. En el campo de la observación óptica de la Tierra, la obtención de imágenes satelitales depende de las condiciones meteorológicas. De hecho, las nubes presentes en la zona de adquisición pueden enmascarar el objeto o el territorio que está tratando de observarse. Sin embargo, es bien sabido que las previsiones meteorológicas a largo plazo presentan muchas incertidumbres, lo que dificulta la determinación del retardo de realización de una solicitud de obtención de imágenes satelitales particular. De este modo, en la práctica, es común estimar el retardo de realización basándose esencialmente en la experiencia del operario del sistema de observación de la Tierra, así como en su conocimiento de la climatología de la zona que va a adquirirse.

La naturaleza subjetiva de esta estimación es difícilmente compatible con las exigencias cada vez mayores de fiabilidad y precisión requeridas por los clientes en los sistemas de teledetección por satélite.

El documento “ROY WELCH *ET AL*: “ASTER as a Source for Topographie Data in the Late 1990’s”, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING”, describe un procedimiento para simular la estimación de un retardo de realización de imágenes satelitales asociadas con al menos una zona predeterminada de la Tierra, por al menos un satélite de observación que comprende un sistema de obtención de imágenes ópticas, estando la adquisición prevista para activarse a partir de una fecha de inicio del análisis y estimando el procedimiento el retardo de la realización en base a datos estadísticos históricos de nebulosidad.

El documento internacional WO 2011/089477 A1 describe un procedimiento para planificar una misión de adquisición de imágenes por un satélite, en el que el plan de adquisición se optimiza teniendo en cuenta diversas limitaciones, que incluyen la nebulosidad y el plazo de entrega límite como parámetros. El procedimiento utiliza datos históricos de nebulosidad para estimar qué zonas serían más aprovechables para la adquisición de imágenes en un periodo de tiempo determinado.

Objeto de la invención

Por tanto, la presente invención tiene como objetivo mitigar tales desventajas proporcionando un procedimiento así como un dispositivo que pemiten estimar el retardo necesario para satisfacer una solicitud de obtención de imágenes satelitales asociada con una zona predeterminada de la Tierra, por al menos un satélite de observación de la Tierra que comprende un sistema de obtención de imágenes óptico.

El objeto de la invención es un procedimiento para simular la estimación de un retardo de realización de imágenes satelitales asociadas con al menos una zona predeterminada de la Tierra, por al menos un satélite de observación de la Tierra que comprende un sistema de obtención de imágenes óptico, dividiéndose la zona predeterminada previamente según una cuadrícula de malla, estando la adquisición prevista para activarse a partir de una fecha de inicio del análisis. El procedimiento es significativo porque comprende etapas que consisten en:

(a) seleccionar una pluralidad de mallas de la cuadrícula, destinadas a sobrevolarse por el satélite en una fecha de iteración actual, a partir de las características orbitales del satélite en la fecha de iteración actual, para obtener mallas candidatas, correspondiendo la fecha de iteración actual a una fecha alrededor de la fecha de inicio del análisis durante un año anterior al año asociado a la fecha de inicio del análisis,

(b) identificar de entre las mallas candidatas, a partir de un plan de misión del satélite, aquellas para las que se ha previsto una planificación de adquisición de al menos una imagen satelital, para obtener mallas planificadas,

(c) obtener al menos un primer valor de nebulosidad para cada una de las mallas planificadas, correspondiendo el primer valor de nebulosidad a una observación y/o pronóstico meteorológico, observado respectivamente en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual,

(d) identificar, de entre las mallas planificadas, aquellas para las que el primer valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de validación predeterminado, para obtener mallas validadas,

(e) repetir las etapas (a) a (d), una o más veces hasta que cada una de las mallas de dicha cuadrícula esté comprendida en las mallas validadas, teniendo en cuenta en cada iteración las mallas no identificadas como validadas y un periodo posterior de la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior,

(f) determinar el retardo de realización de imágenes satelitales a partir del número de iteraciones realizadas en la etapa (e).

Preferiblemente, la etapa (a) comprende además etapas que consisten en:

- obtener al menos un segundo valor de nebulosidad para cada una de las mallas candidatas, correspondiendo el segundo valor de nebulosidad a una observación meteorológica y/o un pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual, y

- identificar de entre las mallas candidatas, aquellas para las que el segundo valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de selección predeterminado diferente del valor umbral de validación predeterminado.

El valor umbral de selección predeterminado y el valor umbral de validación predeterminado pueden corresponder, preferiblemente, a un valor umbral de porcentaje de cielo despejado. Preferiblemente, el valor umbral de validación es mayor que el valor umbral de selección.

Preferiblemente, la etapa (f) comprende además una etapa que consiste en determinar al menos una variable estadística y/o al menos una probabilidad a posteriori a partir de una pluralidad de retardos de realización de imágenes satelitales determinados en la etapa (d).

La invención también se refiere a un producto de programa informático que, cuando se ejecuta por un ordenador, se dispone para ejecutar un procedimiento según la invención; estando el programa informático, opcionalmente, almacenado en un medio legible por ordenador.

La invención también tiene como objetivo un dispositivo para simular la estimación de un retardo de realización de imágenes satelitales asociadas con al menos una zona predeterminada de la Tierra, por al menos un satélite de observación de la Tierra que comprende un sistema de obtención de imágenes óptico, estando la zona predeterminada dividida previamente según una cuadrícula de mallas, estando la adquisición prevista para activarse a partir de una fecha de inicio del análisis, comprendiendo el dispositivo:

- una memoria configurada para almacenar:

- la cuadrícula de mallas asociada a la zona predeterminada,

- las características orbitales del satélite en una fecha de iteración actual, correspondiendo la fecha de iteración actual a una fecha alrededor de la fecha de inicio del análisis en un año anterior al año asociado con la fecha de inicio del análisis, y

- al menos un primer valor de nebulosidad para cada una de las mallas de la cuadrícula, correspondiendo el primer valor de nebulosidad a una observación y/o pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual,

- un procesador acoplado a la memoria y configurado para seleccionar una pluralidad de mallas de la cuadrícula, destinadas a sobrevolarse por el satélite en la fecha de iteración actual a partir de las características orbitales del satélite en la fecha de iteración actual, para obtener mallas candidatas, estando el procesador configurado adicionalmente para:

(a) identificar de entre las mallas candidatas, a partir de un plan de misión del satélite, aquellas para las que se ha previsto una planificación de adquisición de al menos una imagen satelital;

(b) identificar, de entre las mallas candidatas, aquellas para las que el primer valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de validación predeterminado, para obtener mallas planificadas;

(c) repetir las operaciones (a) y (b), una o más veces hasta que cada una de las mallas de dicha cuadrícula esté comprendida en las mallas validadas, teniendo en cuenta en cada iteración las mallas no identificadas como validadas y un periodo posterior de la fecha de iteración actual tenida en consideración en la iteración anterior,

(d) determinar el retardo de realización de imágenes satelitales a partir del número de iteraciones realizadas durante la operación (c).

Preferiblemente, la memoria se configura además para almacenar un segundo valor de nebulosidad para cada una de las mallas candidatas, correspondiendo el segundo valor de nebulosidad a una observación meteorológica y/o un pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual, y, el procesador se configura además para identificar de entre las mallas candidatas, aquellas para las que el segundo valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de selección predeterminado diferente del valor umbral de validación predeterminado, para obtener las mallas candidatas.

El valor umbral de selección predeterminado y el valor umbral de validación predeterminado pueden corresponder, preferiblemente, a un valor umbral de porcentaje de cielo despejado. Preferiblemente, el valor umbral de validación es mayor que el valor umbral de selección.

Preferiblemente, el procesador se configura además para determinar, durante la operación (d), al menos una variable estadística y/o al menos una probabilidad a posteriori a partir de una pluralidad de retardos de realización de imágenes satelitales determinados durante la operación (c).

Descripción de las figuras

Otras características y ventajas de la invención se entenderán mejor tras la lectura de la siguiente descripción y con referencia a los dibujos adjuntos, proporcionados con fines ilustrativos y de ninguna manera limitativos.

La figura 1 representa un diagrama de flujo según la invención.

La figura 2 representa una cuadrícula de mallas que rodea una parte de la Tierra.

La figura 3 representa una vista funcional esquemática de un dispositivo de estimación según una implementación de la invención.

Las figuras 4a, 4b, 4c, 4d y 4e representan un ejemplo de implementación según la invención.

La figura 5 muestra una distribución del retardo de realización simulado durante varios años para un ejemplo de una solicitud de obtención de imágenes satelitales.

En aras de la claridad, los elementos representados no se realizan a escala unos con respecto a otros a menos que se indique lo contrario.

Descripción detallada de la invención

Dentro del alcance de la descripción, se entiende por sistema de observación de la Tierra, un sistema que comprende constelaciones satelitales tales como Landsat, Spot o incluso Pléyades. Además, se especifica que la invención se refiere a sistemas satelitales ópticos, para los que la adquisición de imágenes de la Tierra depende de la iluminación solar reflejada desde el suelo. Estos sistemas utilizan sensores pasivos que permiten registrar la radiación solar reflejada desde el suelo, en diversas longitudes de onda.

El principio general de la invención se basa en la observación de que las previsiones meteorológicas a largo plazo no son muy fiables. Por tanto, no es apropiado confiar en las mismas para estimar el retardo necesario para la realización de imágenes satelitales asociadas con una zona predeterminada de la Tierra. De este modo, según la invención, se propone realizar una o más simulaciones del procedimiento de adquisición de imágenes satelitales asociadas con una zona predeterminada de la Tierra. El procedimiento de adquisición de imágenes abarca el periodo que va desde la activación de una solicitud de adquisición de imágenes satelitales solicitada por un cliente hasta la entrega de los resultados de obtención de imágenes a ese mismo cliente. En la invención, se trata de realizar cada simulación a partir de observaciones y/o pronósticos meteorológicos pasados. De esta manera, es posible determinar cuánto tiempo habría tardado el sistema de observación de la Tierra en la realización de imágenes satelitales de la zona predeterminada de la Tierra durante el periodo pasado en cuestión. Esta cantidad de tiempo determinada en función

del pasado puede servir entonces de base para estimar el retardo futuro de realización de imágenes satelitales.

La figura 1 ilustra un procedimiento 100 que describe funcionalmente el principio general del simulador según la invención.

En el ejemplo de la figura 1, se considera que se recibe una solicitud Rq de obtención de imágenes satelitales similar a las solicitudes que se reciben y procesan en los centros de misiones para satélites. Sin embargo, también se prevé que se recibirán diversas solicitudes Rq concurrentes. Una solicitud Rq está programada para iniciarse/activarse a partir de una fecha de inicio del análisis. Por fecha se entiende la indicación del día, el mes y el año.

La solicitud Rq define al menos una zona predeterminada de la Tierra en la que deberá realizarse la adquisición de imágenes satelitales. En un ejemplo, la zona predeterminada de la Tierra se define por uno o más polígonos cuyos vértices corresponden a las posiciones geográficas del globo terrestre. En una implementación particular, la solicitud Rq está destinada a asociarse con un sistema de observación de la Tierra predeterminado que está configurado para sobrevolar la zona predeterminada de la Tierra.

Posteriormente, en la etapa 110, denominada de mallado, la zona predeterminada de la Tierra se divide según una cuadrícula compuesta por mallas con el fin de obtener las mallas Md solicitadas. Por cuadrícula se entiende, por ejemplo, líneas de cuadrícula horizontales y verticales. Por malla se entiende cualquiera de los cuadriláteros elementales que componen la cuadrícula. Por ejemplo, cada malla de la cuadrícula tiene una forma cuadrada o próxima a un cuadrado, por ejemplo, una forma rectangular. La figura 2 ilustra un ejemplo de una cuadrícula 10 de mallas superpuesta en una parte de la Tierra. En un primer ejemplo, la cuadrícula según la invención se presenta en forma de un archivo de imagen en el que cada malla asociada con la zona predeterminada está georreferenciada. En un segundo ejemplo, la cuadrícula según la invención se presenta en forma de un archivo de texto en el que cada línea describe al menos una malla de la cuadrícula con información de georreferenciación asociada con la zona predeterminada.

En una etapa 120, denominada de censo, se determinan las mallas denominadas candidatas Mc de entre las mallas Md solicitadas. Para ello, se utiliza, en una fecha de iteración actual, las características orbitales de al menos un satélite de observación configurado para sobrevolar la zona predeterminada de la Tierra, para determinar de entre las mallas Md solicitadas, aquellas que se sobrevolarán por el satélite de observación en la fecha de iteración actual.

Por características orbitales de un satélite se entienden aquellas características convencionales tales como la altitud, el número de órbitas por día o la inclinación de la órbita. También pueden definirse otros parámetros del sistema junto con las características orbitales de un satélite, como la lista de estaciones terrestres que permiten que las imágenes realizadas por el satélite vuelvan a descender, la resolución del sistema de obtención de imágenes, las bandas espectrales soportadas por el sistema de obtención de imágenes del satélite, el corte del instrumento óptico o incluso los límites de ángulo de incidencia permitidos para los disparos.

Por fecha de iteración actual se entiende una fecha que se tiene en cuenta durante una iteración de una simulación del retardo de realización de la solicitud Rq. La fecha de iteración actual se encuentra alrededor de la fecha de inicio durante un año anterior al año asociado con la fecha de inicio de la solicitud Rq. Por año anterior se entiende un año que precede al año asociado con la fecha de inicio del análisis de la solicitud Rq. Por ejemplo, podrían ser dos, cinco, ocho, doce, veinte o incluso treinta años antes del año asociado a la fecha de inicio de la solicitud Rq. Durante una simulación según la invención, la fecha de iteración actual comienza en una fecha de comienzo de la simulación. La fecha de comienzo de la simulación se determina a partir de la fecha de inicio del análisis de la solicitud Rq. En un ejemplo, puede tenerse en consideración que la fecha de inicio del análisis de la solicitud Rq está planificada para el dd/mm/YYYY en donde dd corresponde al día, mm es el mes e YYYY es el año en cuestión. En este ejemplo, también puede tenerse en consideración que el año anterior que va a tenerse en cuenta se sitúa cinco años antes del año asociado con la fecha de inicio del análisis de la solicitud Rq. En este caso, la fecha de comienzo de la simulación considerada corresponde a la fecha de dd/mm/(YYYY-5). A continuación, durante una simulación, la fecha de iteración actual se incrementa según al menos un criterio predeterminado. En una alternativa al ejemplo, se realizan varias simulaciones, siendo cada simulación en un año anterior determinado. En este caso, si se realizan ocho simulaciones que se encuentran en los últimos ocho años anteriores a la fecha de inicio del análisis de la solicitud Rq, entonces la fecha de comienzo de cada simulación corresponderá respectivamente a las fechas de dd/mm/(YYYY-1), dd/mm/(YYYY-2), dd/mm/(YYYY-3), dd/mm/(YYYY-4), dd/mm/(YYYY-5), dd/mm/(YYYY-6), dd/mm/(YYYY-7) y dd/mm/(YYYY-8).

En una primera implementación particular de la etapa 120, solo las mallas Md solicitadas que están destinadas a sobrevolarse por día, pueden considerarse mallas Mc candidatas.

En una segunda implementación particular de la etapa 120, solo las mallas Md solicitadas que están destinadas a sobrevolarse mientras están poco o nada enmascaradas por las nubes, pueden considerarse mallas Mc candidatas. Para ello, se asocia con cada malla Md solicitada un primer valor Vn1 de nebulosidad. De este modo, solo las mallas Md solicitadas que están destinadas a sobrevolarse y cuyo primer valor de nebulosidad está más allá de un valor umbral de selección, pueden considerarse mallas Mc candidatas.

En un ejemplo, el valor umbral de selección predeterminado es un umbral de nubosidad, tal como un valor umbral de porcentaje de cielo despejado.

Clásicamente, se entiende por nubosidad la parte del cielo cubierta por todas o parte de las nubes a nivel de cada malla de la cuadrícula 10. Esto podría ser, por ejemplo, un archivo de datos ERA-Interim producido por el CEPMP (Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo, o ECMWF en inglés para European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Un archivo de este tipo, según la invención, puede comprender un valor de nebulosidad para cada una de las mallas Md solicitadas durante una o más fechas durante uno o más años anteriores al año asociado con la fecha de inicio del análisis.

En una primera implementación, el primer valor de nebulosidad corresponde a una observación meteorológica observada en la fecha de iteración actual. En un ejemplo de la primera implementación, la observación meteorológica se realiza durante un año anterior al año asociado con la fecha de inicio del análisis, llevando el mes el mismo nombre y teniendo el día la misma fecha que el mes y el día de la fecha de inicio.

En una segunda implementación, el primer valor de nebulosidad corresponde a una previsión meteorológica realizada para la fecha de iteración actual. En un ejemplo de la segunda implementación, la previsión se realizó para la misma fecha que la fecha de inicio predefinida durante al menos un año anterior al año asociado con la fecha de inicio del análisis.

En un ejemplo de la segunda implementación particular de la etapa 120, las mallas Mc candidatas se priorizan en función de al menos un criterio de prioridad predeterminado. Por ejemplo, puede proporcionarse una mayor prioridad a las mallas Mc candidatas cuyo primer valor Vn1 de nebulosidad es bajo. En otro ejemplo, pueden priorizarse las mallas Mc candidatas según un valor de prioridad predeterminado. El valor de prioridad predeterminado puede determinarse en la solicitud Rq o en la etapa 110. Cabe señalar que también se prevé utilizar diversos criterios de prioridad predeterminados de manera combinada o de manera independiente.

En una etapa 130, denominada de cálculo del plan de misión, se determinan las denominadas mallas Mp planificadas de entre las mallas Mc candidatas. Para ello, se simula, en la fecha de iteración actual, la generación de un plan de misión del satélite de observación considerado a partir de las mallas Mc candidatas y la solicitud Rq. De este modo, solo las mallas Mc candidatas que se planea adquirir por el satélite en cuestión pueden considerarse mallas Mp planificadas. Por plan de misión (en inglés, mission plan) el plan de programación del satélite en cuestión que se carga/envía al satélite a través del centro de control y que permite realizar los disparos de la zona predeterminada de la Tierra según un orden y características de disparo proporcionadas en el plan. Por ejemplo, la prioridad asociada con cada malla Mc candidata puede tenerse en cuenta al elaborar el plan de misión. Se conoce que el plan de misión tiene en cuenta las restricciones cinemáticas relacionadas con la plataforma y también integra los planes de vaciado de las diferentes estaciones de recepción. Un plan de misión de este tipo puede obtenerse por un generador de plan de misión de tipo conocido, por ejemplo, tal como se describe en la solicitud FR3039728. En la invención, se pretende tener en cuenta la carga del satélite (en inglés, satellite load) al establecer el plan de misión. Por carga del satélite se entiende una pluralidad de solicitudes Rq procesadas de manera simultánea por el satélite en un momento dado. En el contexto de una simulación, puede considerarse la carga actual y/o futura del satélite de observación de la Tierra en cuestión.

En una etapa 140, denominada de validación, se simula la validación de las imágenes adquiridas una vez descargadas a la tierra. Para ello, se determina, en la fecha de iteración actual, las denominadas mallas Mv validadas de entre las mallas Mp planificadas. En la práctica, solo las mallas Mp planificadas que no hayan sido enmascaradas por las nubes pueden considerarse mallas Mv validadas. Para ello, se asocia cada malla Mp planificada con un segundo valor Vn2 de nebulosidad. De este modo, solo las mallas Mp planificadas cuyo segundo valor de nebulosidad está más allá de un valor umbral de validación pueden considerarse mallas Mv validadas. En un ejemplo, el valor umbral de validación predeterminado es un valor umbral de porcentaje de cielo despejado. Por ejemplo, puede preverse un valor umbral de porcentaje de cielo despejado comprendido entre el 50% y el 100%, más preferiblemente entre el 60 y el 90%. En una implementación particular, el valor umbral de validación predeterminado es mayor que el valor umbral de selección predeterminado.

Las mallas MiV invalidadas en la etapa 140 vuelven a introducirse en un bucle de iteración formado por las etapas 120, 130 y 140, hasta que cada una de las mallas Md solicitadas esté comprendida en el conjunto de mallas Mv validadas. Para ello, con cada iteración de la simulación, se tiene en cuenta un periodo posterior a la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior. En un ejemplo, el periodo posterior a la fecha de iteración actual considerado en la iteración anterior corresponde al día siguiente de la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior. Sin embargo, pueden preverse otros periodos, como, por ejemplo, un periodo predeterminado hasta la siguiente órbita del satélite, uno o más días, semanas, meses o cualquier otra duración apropiada.

Finalmente, en una etapa 150, para una simulación que se ha completado después de una o más iteraciones, se determina el retardo Dr necesario para la realización de imágenes satelitales a partir del número de iteraciones realizadas durante la simulación. En un ejemplo, se trata, al menos, del periodo transcurrido entre la fecha de comienzo

de la simulación considerada hasta la fecha de finalización de la simulación considerada. En este ejemplo, también pueden añadirse otros periodos Po operativos, tales como el periodo necesario para preparar y entregar los resultados de obtención de imágenes al cliente. En particular, esto puede comprender operaciones de tratamiento de imágenes según los deseos del cliente.

El ejemplo de la figura 3 ilustra una implementación particular del procedimiento 100 de la figura 1. La figura 3 muestra un dispositivo 200 para simular la estimación del retardo de realización de imágenes satelitales asociadas con una zona predeterminada de la Tierra. El dispositivo 200 comprende un procesador 210 y una memoria 220 que se acoplan entre sí.

La memoria 220 se configura para almacenar una cuadrícula asociada con la zona predeterminada de la Tierra definida en la solicitud Rq. En una implementación particular, la memoria 220 se configura para almacenar una pluralidad de cuadrículas, estando cada una asociada con una zona predeterminada de la Tierra definida en la solicitud Rq. En otra implementación particular, la memoria 220 se configura para almacenar una cuadrícula asociada con una pluralidad de zonas predeterminadas de la Tierra definidas en la solicitud Rq. Además, la memoria 220 también se configura para almacenar las características orbitales de al menos un satélite de observación configurado para sobrevolar la zona predeterminada de la Tierra, al menos en la fecha de iteración actual de la simulación. Finalmente, la memoria 220 se configura para almacenar el primer valor Vn1 de nebulosidad y el segundo valor Vn2 de nebulosidad para cada una de las mallas Md solicitadas.

El procesador 210 se configura para implementar las etapas 110, 120, 130, 140 y 150 del procedimiento 100 según los datos meteorológicos disponibles. De manera general, la invención está destinada a utilizar una observación meteorológica observada en la fecha de iteración actual y/o un pronóstico meteorológico realizado para la fecha de iteración actual

En una primera implementación, solo se dispone de las previsiones meteorológicas pasadas. En este caso, el procesador 210 se configura para utilizar las previsiones meteorológicas pasadas en la etapa 120.

En una segunda implementación, solo se dispone de observaciones meteorológicas pasadas. En este caso, el procesador 210 se configura, o bien para utilizar las observaciones meteorológicas pasadas en las etapas 120 y 140, o bien para utilizar las observaciones meteorológicas pasadas en la etapa 140.

En una tercera implementación, se dispone de observaciones y de pronósticos meteorológicos pasados. En este caso, el procesador 210 se configura para utilizar las previsiones meteorológicas pasadas en la etapa 120 y utilizar las observaciones meteorológicas en la etapa 140.

Con el fin de comprender mejor el funcionamiento del dispositivo 200, se tiene en consideración el ejemplo de una simulación en relación con las figuras 4a, 4b, 4c, 4d y 4e. En este ejemplo, el procesador 210 se configura según la segunda alternativa de la segunda implementación, tal como se describió anteriormente. En la práctica, solo se dispone de observaciones meteorológicas pasadas que se utilizan por el procesador 210 en la implementación de la etapa 140.

En primer lugar, se asume que se recibe, a nivel de un centro de misión de satélites, un archivo que comprende una solicitud Rq de obtención de imágenes satelitales asociada con una zona predeterminada de la Tierra. La figura 4a, junto con la figura 3 presentada anteriormente, ilustra una zona 20 predeterminada definida por la solicitud Rq. A continuación, también se asume que la fecha de inicio del análisis de la solicitud Rq está prevista para el dd/mm/YYYY en donde dd corresponde al día, mm es el mes e YYYY es el año en cuestión. También se asume que la memoria 220 almacena las características orbitales de al menos un satélite de observación configurado para sobrevolar la zona predeterminada de la Tierra 20, y esto, en cada fecha de iteración actual de la simulación. Finalmente, se asume que la memoria 220 almacena un segundo valor Vn2 de nebulosidad para cada malla Md solicitada por la solicitud Rq. También se asume en el ejemplo que el segundo valor Vn2 de nebulosidad se observó en la fecha de dd/mm/(YYYY-T) en donde T corresponde a un número entero. En el ejemplo, se asume que T toma el valor 10, de modo que la memoria 220 almacena al menos un segundo valor Vn2 de nebulosidad observado diez años antes de la fecha de inicio del análisis de dd/mm/YYYY, es decir, en la fecha de dd/mm/(YYYY-10). De este modo, la fecha de comienzo de la simulación es el dd/mm/(YYYY-10).

En funcionamiento, el procesador 210, en primer lugar, implementa la etapa 110 con el fin de obtener las mallas Md solicitadas. La figura 4b delimita mediante una línea 11 en negrita todas las mallas Md solicitadas que se derivan del corte de la zona 20 predeterminada.

A partir de entonces, tal como se indicó anteriormente, el procesador 210 implementa la etapa 120 con el fin de obtener las mallas Mc candidatas. Entonces, se trata de identificar de entre las mallas Md solicitadas, aquellas que se sobrevolarían por el satélite de observación en la fecha de iteración actual.

A continuación, el procesador 210 implementa la etapa 130 con el fin de obtener las mallas Mp planificadas. A continuación, es necesario obtener las mallas de la cuadrícula 11 que se prevé que van a adquirirse por el satélite de

observación en la fecha de dd/mm/(YYYY-10).

A continuación, el procesador 210 implementa la etapa 140 con el fin de obtener las mallas Mv validadas. A continuación, se trata de identificar de entre las mallas planificadas aquellas para las que el segundo valor Vn2 de nebulosidad está más allá de un valor umbral de validación predeterminado. La figura 4c ilustra mediante sombreados las mallas de la cuadrícula 11 que se habrían validado en la fecha de dd/mm/(YYYY- 10).

Según la figura 4c, solo una parte de las mallas de la cuadrícula 11 se habría validado a partir de la fecha dd/mm/(YYYY- 10), de modo que el procesador 210 necesita continuar la simulación a partir de las mallas Miv invalidadas durante la implementación de la etapa 140 por parte del procesador 210. Para ello, el procesador 210 implementa un bucle de iteración de las etapas 120, 130, 140, 150.

Sin embargo, en la invención, durante la ejecución de una iteración posterior de la simulación, el procesador 210 se configura para tener en cuenta el periodo siguiente a la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior.

En el ejemplo de la figura 4, el procesador 210 tiene en cuenta el día siguiente a la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior. De este modo, en la segunda iteración, el procesador 210 selecciona en la fecha de (dd + 1)/mm/(YYYY-10), las mallas Mp planificadas de entre las mallas Miv invalidadas. A continuación, el procesador 210 identifica de entre las mallas Mp planificadas aquellas para las que el segundo valor de nebulosidad asociado, en la fecha de (dd+1)/mm/(YYYY- 10), está más allá del valor umbral de validación predeterminado.

La figura 4d ilustra mediante sombreados las mallas que se habrían validado en la fecha de (dd+1)/mm/(YYYY-10). Según la figura 4d, solo una parte de las mallas de la cuadrícula 11 se habrían validado a partir de la fecha de (dd+1)/mm/(YYYY - 10), de modo que el procesador 210 tiene necesidad de continuar con la simulación. De este modo, en el ejemplo de la figura 4, para la tercera iteración de la simulación, el procesador 210 tiene en cuenta la fecha de iteración actual de (dd+2)/mm/(YYYY - 10). Asimismo, para la cuarta iteración de la simulación, el procesador 210 tiene en cuenta la fecha de iteración actual de (dd+3)/mm/(YYYY - 10). Y así sucesivamente hasta que se complete la simulación actual, es decir, hasta que cada una de las mallas Md solicitadas esté comprendida en las mallas Mv validadas.

La figura 4e ilustra mediante sombreados las mallas que se habrían validado tras haber terminado la finalización de una simulación.

Cuando el conjunto de las mallas Md solicitadas está comprendido en las mallas validadas, el procesador 210 implementa la etapa 150 con el fin de estimar el retardo de realización de la solicitud Rq para el año pasado en cuestión.

En un ejemplo, el retardo de realización de la solicitud Rq corresponde al menos al periodo transcurrido desde la fecha de comienzo de la simulación de dd/mm/(YYYY - T) hasta la fecha en que se habrían validado todas las mallas. Por ejemplo, si T es igual a 10 como en el ejemplo anterior y la fecha de finalización de la simulación es el (dd+5)/mm/(YYYY - 10), entonces el retardo de realización de imágenes satelitales es de seis días. En otro ejemplo, si T es igual a 10 como en el ejemplo anterior y la fecha de finalización de la simulación es el (dd+3)/(mm+2)/(YYYY - 10), entonces el retardo de realización de imágenes satelitales es de dos meses y cuatro días. A este retardo pueden añadirse otros retardos operacionales, tales como los necesarios para realizar operaciones de tratamiento de imágenes, para descargar el plan de misión del centro de misión al satélite o incluso para descargar las imágenes adquiridas por el satélite de observación a las estaciones terrestres.

De manera particular, se prevé realizar una simulación para cada uno de los años anteriores al año asociado con la fecha de inicio del análisis. En el ejemplo de la figura 4, podría tratarse de realizar una simulación para cada uno de los diez años anteriores al año de la fecha de inicio de la solicitud Rq. En una implementación particular, el procesador 210 está configurado para realizar, en paralelo, una pluralidad de simulaciones.

En el caso de la figura en donde se realizan múltiples simulaciones, el procesador 210 se configura además para determinar al menos una variable estadística y/o al menos una probabilidad a posteriori a partir de los retardos de realización obtenidos durante cada uno de los años simulados.

En un ejemplo, la variable estadística incluye el cálculo de una de las siguientes variables, tomadas solas o según cualquier combinación: una media, un promedio ponderado, una mediana, un número de situaciones por encima o por debajo de un valor de referencia, un máximo, un mínimo, una desviación estándar o la desviación entre un máximo y un mínimo.

En otro ejemplo, la probabilidad a posteriori se determina en base a la variable estadística o de una serie de variables estadísticas. De este modo, por ejemplo, es posible estimar la probabilidad de adquirir las imágenes satelitales asociadas con una solicitud de obtención de imágenes, para uno o más retardos de realización dados. En otro ejemplo, pueden determinarse los retardos de realización de una solicitud de obtención de imágenes para los que la probabilidad a posteriori es mayor que un umbral de determinación de retardo de realización predeterminado. La figura

5 ilustra, en forma de histograma, una distribución del retardo de finalización asociado con una solicitud Rq, y esto, durante una pluralidad de años simulados. El histograma de la figura 5 comprende en la abscisa el retardo Dr de realización expresado en días y comprende en una ordenada la frecuencia de situación de retardos de realización, expresada en porcentaje. De este modo, en la figura 5, puede observarse que la probabilidad de realizar la solicitud Rq en treinta días es mayor que la probabilidad de realizarla en sesenta días. En el ejemplo de la figura 5, un umbral de determinación de retardo de realización fijado al % permite identificar el retardo de 30 días como el más probable para la realización de la solicitud Rq.

Además, también se prevé realizar una simulación solo para los años anteriores al año asociado con la fecha de inicio que tengan similitudes meteorológicas con el año asociado con la fecha de inicio. Por ejemplo, se conoce que los fenómenos climáticos tales como 'El Niño' o 'La Niña' se caracterizan por una cronología particular que puede preverse gracias a un acoplamiento de la atmósfera y la superficie del océano.

En las reivindicaciones, el término "comprender" no excluye otros elementos u otras etapas. Las diferentes características presentadas y/o reivindicadas pueden combinarse ventajosamente. Su presencia en la descripción o en diferentes reivindicaciones dependientes no excluye esta posibilidad. Por último, los signos de referencia de los dibujos no se entenderán como limitativos del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para simular la estimación de un retardo de realización de imágenes satelitales asociadas con al menos una zona predeterminada de la Tierra (20), por al menos un satélite de observación de la Tierra que comprende un sistema de obtención de imágenes óptico, dividiéndose (110) la zona predeterminada previamente según una rejilla (11) de mallas, estando la adquisición prevista para activarse a partir de una fecha de inicio del análisis, caracterizado porque el procedimiento comprende etapas que consisten en:

(a) seleccionar (120) una pluralidad de mallas de la cuadrícula, destinadas para sobrevolarse por el satélite en una fecha de iteración actual, a partir de las características orbitales del satélite en la fecha de iteración actual, para obtener mallas candidatas, correspondiendo la fecha de iteración actual a una fecha alrededor de la fecha de inicio del análisis durante un año anterior al año asociado con la fecha de inicio del análisis,

(b) identificar (130) de entre las mallas candidatas, a partir de un plan de misión del satélite, aquellas para las que se prevé una planificación de adquisición de al menos una imagen satelital, para obtener mallas planificadas,

(c) obtener (140) al menos un primer valor de nebulosidad para cada una de las mallas planificadas, correspondiendo el primer valor de nebulosidad a una observación y/o pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual,

(d) identificar (140) de entre las mallas planificadas, aquellas para las que el primer valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de validación predeterminado, para obtener mallas validadas,

(e) repetir las etapas (a) a (d), una o más veces hasta que cada una de las mallas de dicha cuadrícula esté comprendida en las mallas validadas, teniendo en cuenta en cada iteración las mallas no identificadas como validadas y un periodo posterior a la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior,

(f) determinar (150) el retardo de realización de imágenes satelitales a partir del número de iteraciones realizadas en la etapa (e).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que,

- la etapa (a) también comprende las etapas que consisten en:

- obtener (120) al menos un segundo valor de nebulosidad para cada una de las mallas candidatas, correspondiendo el segundo valor de nebulosidad a una observación meteorológica y/o un pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual, y,

- identificar (120) de entre las mallas candidatas, aquellas para las que el segundo valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de selección predeterminado diferente del valor umbral de validación predeterminado.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el valor umbral de selección predeterminado y el valor umbral de validación predeterminado corresponden a un valor umbral porcentual de cielo despejado.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el valor umbral de validación predeterminado es mayor que el valor umbral de selección predeterminado.

5. Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (f) comprende además la etapa que consiste en determinar al menos una variable estadística y/o al menos una probabilidad a posteriori a partir de una pluralidad de retardos de realización de imágenes satelitales determinados en la etapa (d).

6. Producto de programa informático que, cuando se ejecuta por un ordenador, está dispuesto para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores; estando el programa informático, opcionalmente, almacenado en un medio legible por ordenador.

7. Dispositivo (200) para simular la estimación de un retardo de realización de imágenes satelitales asociadas con al menos una zona predeterminada de la Tierra (20), por al menos un satélite de observación de la Tierra que comprende un sistema de obtención de imágenes óptico, dividiéndose la zona predeterminada previamente según una cuadrícula (11) de mallas, estando la adquisición prevista para activarse a partir de una fecha de inicio del análisis, caracterizado porque el dispositivo comprende:

- una memoria (210) configurada para almacenar:

- la cuadrícula de mallas asociada a la zona predeterminada,

- las características orbitales del satélite en una fecha de iteración actual, correspondiendo la fecha de iteración actual

a una fecha alrededor de la fecha de inicio del análisis durante un año anterior al año asociado con la fecha de inicio del análisis, y

- al menos un primer valor de nebulosidad para cada una de las mallas de la cuadrícula, correspondiendo el primer valor de nebulosidad a una observación y/o pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual,

- un procesador (220) acoplado a la memoria y configurado para seleccionar una pluralidad de mallas de la cuadrícula, destinadas a sobrevolarse por el satélite en la fecha de iteración actual a partir de las características orbitales del satélite en la fecha de iteración actual, para obtener mallas candidatas, estando además el procesador configurado para:

(a) identificar de entre las mallas candidatas, a partir de un plan de misión del satélite, aquellas para las que se ha previsto una planificación de adquisición de al menos una imagen satelital;

(b) identificar, de entre las mallas candidatas, aquellas para las que el primer valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de validación predeterminado, para obtener mallas planificadas;

(c) repetir las operaciones (a) y (b), una o más veces hasta que cada una de las mallas de dicha cuadrícula esté comprendida en las mallas validadas, teniendo en cuenta en cada iteración las mallas no identificadas como validadas y un periodo posterior a la fecha de iteración actual considerada en la iteración anterior,

(d) determinar el retardo de realización de imágenes satelitales en función del número de iteraciones realizadas durante la operación (c).

8. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que:

- la memoria (210) se configura además para almacenar un segundo valor de nebulosidad para cada una de las mallas candidatas, correspondiendo el segundo valor de nebulosidad a una observación meteorológica y/o un pronóstico meteorológico, respectivamente observado en la fecha de iteración actual o realizado para la fecha de iteración actual, y

- el procesador (220) se configura además para identificar de entre las mallas candidatas, aquellas para las que el segundo valor de nebulosidad asociado está más allá de un valor umbral de selección predeterminado diferente del valor umbral de validación predeterminado, para obtener las mallas candidatas.

9. Dispositivo según la reivindicación 8, en el que el valor umbral de selección predeterminado y el valor umbral de validación predeterminado corresponden a un valor umbral porcentual de cielo despejado.

10. Dispositivo según la reivindicación 9, en el que el valor umbral de validación predeterminado es mayor que el valor umbral de selección predeterminado.

11. Dispositivo según una de las reivindicaciones 7 a 10, en el que el procesador está configurado además para determinar, durante la operación (d), al menos una variable estadística y/o al menos una probabilidad a posteriori a partir de una pluralidad de retardos de realización de imágenes satelitales determinados durante la operación (c).

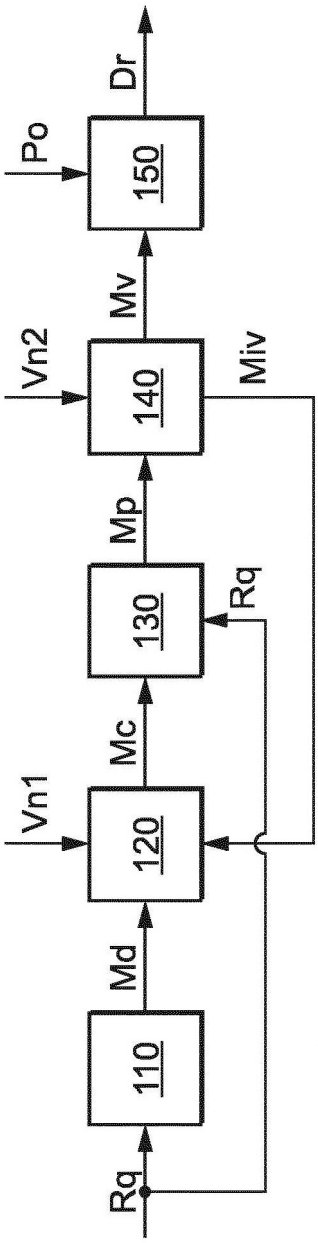


FIG. 1

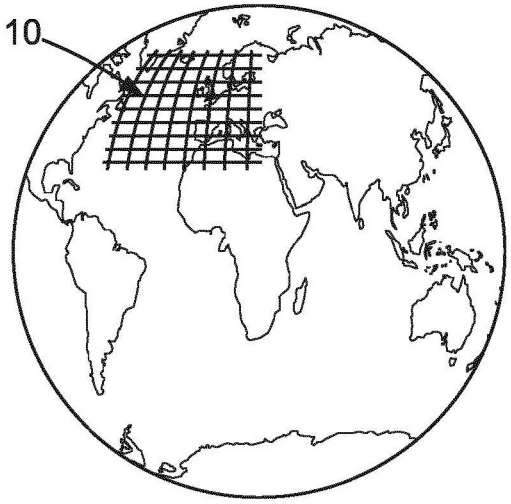


FIG. 2

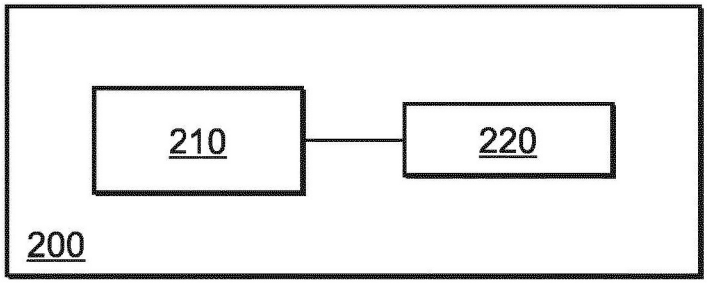


FIG. 3



FIG. 4A

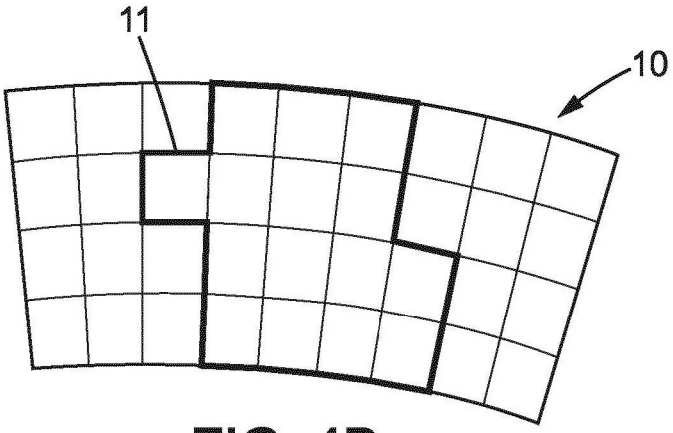


FIG. 4B

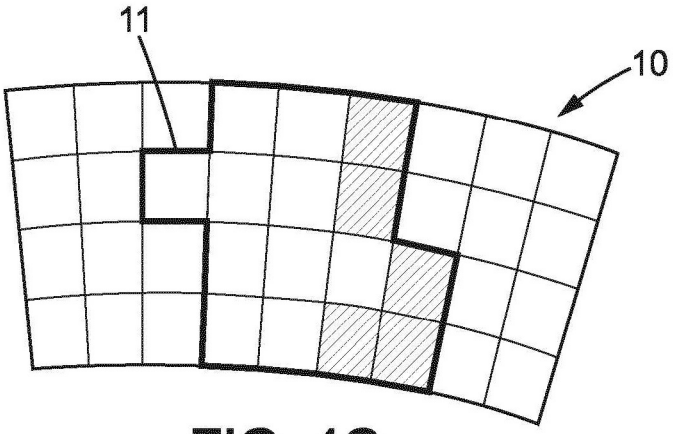


FIG. 4C

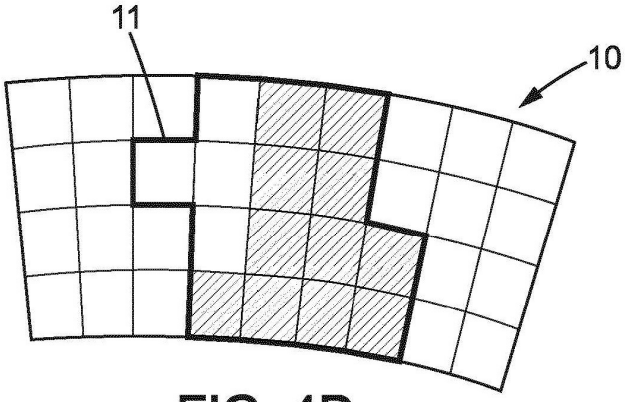


FIG. 4D

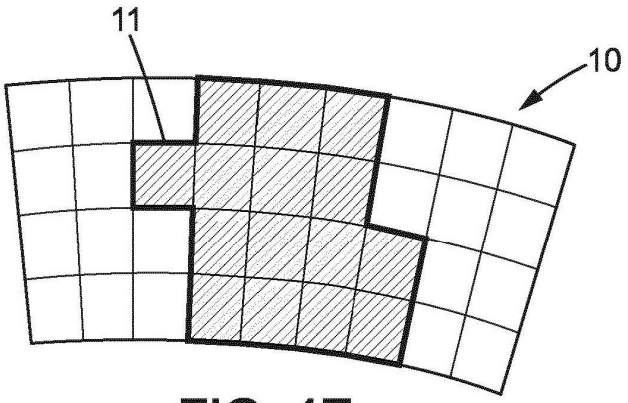


FIG. 4E

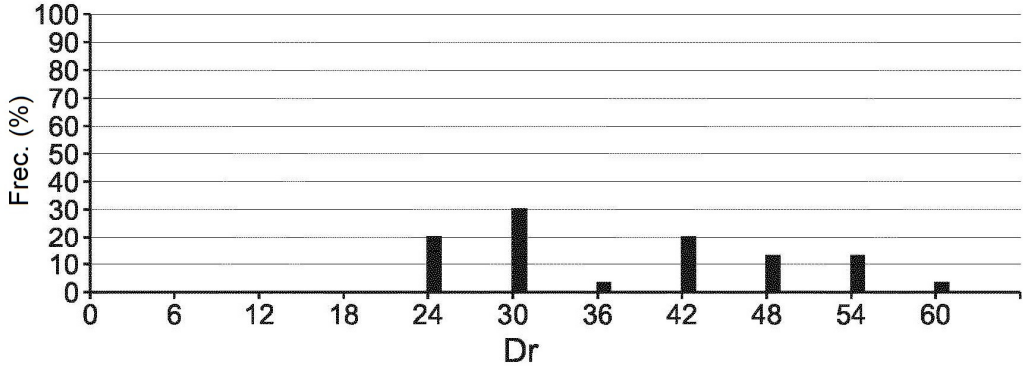


FIG. 5