

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 965 026**

51 Int. Cl.:

G06T 3/40

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2021** **PCT/FR2021/052157**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2022** **WO22123145**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2021** **E 21839602 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023** **EP 4046128**

54 Título: **Procedimiento de mosaicado no local de una imagen y dispositivo asociado**

30 Prioridad:

10.12.2020 FR 2013027

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

10.04.2024

73 Titular/es:

AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (100.0%)
31 Rue des Cosmonautes ZI du Palays
31402 Toulouse Cedex 4, FR

72 Inventor/es:

GUILLAUME, LAURENT

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 965 026 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 de demosaicado no local de una imagen y dispositivo asociado

Sector de la técnica

La presente solicitud se refiere a un procedimiento de demosaicado de una imagen. El procedimiento se aplica en particular al demosaicado de imágenes cuyos componentes están dispuestos en un patrón de Bayer en el dominio RGB.

Estado de la técnica

Una imagen obtenida por un sensor matricial multispectral se transforma generalmente en mosaico. Por ejemplo, una imagen se adquiere en forma de píxeles con una componente de color o "single color luminiscence" en inglés y se transforma mediante demosaicado en píxeles con varias bandas espectrales o "multiple color luminiscence" en inglés. De este modo, la imagen inicial está formada por un conjunto de píxeles en donde cada píxel de la imagen corresponde a una sola banda espectral de entre las bandas espectrales que pueden adquirirse en otros píxeles del sensor matricial multispectral, adquiriendo cada píxel del sensor matricial multispectral solo una parte de la información multispectral.

Un caso típico es el de los sensores organizados según la matriz de Bayer, que se compone de un 50 % de filtros verdes y un 25 % de filtros rojos y azules. En una matriz de Bayer, cada grupo cuadrado de cuatro píxeles comprende dos píxeles verdes en diagonal, y un píxel rojo y uno azul en la otra diagonal. En este ejemplo, el objetivo del demosaicado es interpolar los dos valores de rojo, verde y azul que faltan para cada píxel de la imagen inicial.

Ya se han propuesto varias técnicas de demosaicado. Se conoce, en particular, el método denominado de Hamilton-Adams, descrito en la publicación de J. Hamilton Jr y J. Adams Jr, "Adaptive color plan interpolation in single sensor color-electronic camera, 1997", correspondiente a la patente US 5.629.734.

También se conoce la publicación de A. Buades *et al*, "Self-similarity Driven Demosaicking", en Image Processing on Line, 2011-06-01, ISSN 2105-1232.

También se conoce la publicación de XIN LI *et al*, "New edge-directed interpolation", en IEEE Transactions on Image Processing vol.10, n.º 10, octubre de 2001.

Sin embargo, los métodos propuestos no permiten generalmente obtener una calidad de imagen limitada, insuficiente en particular para aplicaciones espaciales como la observación de la Tierra.

Objeto de la invención

En vista de lo anterior, el objetivo de la invención es proponer un procedimiento de demosaicado de imágenes mejorado con respecto a la técnica anterior.

A este respecto, la invención propone un procedimiento de demosaicado aplicado a una imagen inicial que tiene píxeles que corresponden cada uno a una banda espectral inicial para obtener una imagen demosaicada con varias bandas espectrales que tienen píxeles que corresponden cada uno a dicha banda espectral inicial o a una banda espectral interpolada, caracterizado por que comprende:

- en base a una pluralidad de parches de referencia predeterminados y para cada parche de referencia de la pluralidad de parches de referencia:

- o una determinación de un conjunto de parches similares a dicho parche de referencia,
- o una determinación de una matriz de covarianza de dicho conjunto de parches similares, y
- o para cada parche similar de dicho conjunto de parches similares, un cálculo de estimaciones de las bandas espectrales interpoladas, en función de una descomposición en bloque de la matriz de covarianza, en donde la descomposición en cuatro bloques es una función del desfase de cada parche similar, y

- una determinación de las bandas espectrales interpoladas agregando las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas, en donde las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas se agregan para cada píxel.

En algunas realizaciones, los parches de referencia predeterminados se distribuyen de forma que cubran una proporción determinada de la imagen.

En algunas realizaciones, al determinar la matriz de covarianza del conjunto de parches similares, los parches similares comprenden bandas espectrales iniciales y bandas espectrales intermedias, derivándose estas bandas espectrales intermedias del demosaicado previo por interpolación lineal aplicado a la imagen inicial.

5 En algunas realizaciones, la determinación de dicho conjunto de parches similares a cada parche de referencia se determina mediante una función de similitud aplicada a una imagen intermedia resultante de un demosaicado previo por interpolación lineal de la imagen inicial.

10 En algunas realizaciones, al determinar la matriz de covarianza del conjunto de parches similares, los parches similares comprenden bandas espectrales iniciales y bandas espectrales intermedias, derivándose estas bandas espectrales intermedias del demosaicado previo por interpolación lineal y de una eliminación de ruido previa aplicada a la imagen inicial.

15 En algunas realizaciones, la determinación de dicho conjunto de parches similares a cada parche de referencia se determina mediante una función de similitud aplicada a una imagen intermedia resultante de un demosaicado previo por interpolación lineal y una eliminación de ruido previa de la imagen inicial.

20 La eliminación de ruido puede consistir en una función de eliminación de ruido local aplicada a cada parche en función de dicho conjunto de parches similares al parche en cuestión.

En algunas realizaciones, las bandas espectrales corresponden al espacio de color RGB o YUV.

25 En algunas realizaciones, las bandas espectrales corresponden al espacio de color RGB y los píxeles de la imagen inicial están organizados en un patrón de Bayer.

En algunas realizaciones, la agregación de las estimaciones de bandas espectrales interpoladas se realiza calculando una media de estas estimaciones de banda espectral interpoladas.

30 En algunas realizaciones, la descomposición en cuatro bloques en función del desfase de dicho parche similar es función del par (L,C) correspondiente al píxel L-ésimo y al píxel C-ésimo de dicho parche similar, siendo cada valor de la matriz en la fila L y en la columna C, según sea:

- un píxel L correspondiente a una banda espectral inicial y un píxel C correspondiente a una banda espectral inicial, asignados a un primer bloque Σ_{dd}

35 - un píxel L no correspondiente a una banda espectral inicial y un píxel C correspondiente a una banda espectral inicial, asignados a un segundo bloque Σ_{md}

40 - un píxel L correspondiente a una banda espectral inicial y un píxel C no correspondiente a una banda espectral inicial, asignados a un tercer bloque Σ_{dm}

- un píxel L no correspondiente a una banda espectral inicial y un píxel C no correspondiente a una banda espectral inicial, asignados a un cuarto bloque Σ_{mm} .

45 En algunas realizaciones, para cada parche similar en dicho conjunto de parches similares, el cálculo de las estimaciones de bandas espectrales interpoladas se realiza de la siguiente manera:

$$x_m = \bar{y}_m + \Sigma_{md} \Sigma_{dd}^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

50 En donde:

- x_m es el vector de estimaciones de las bandas espectrales interpoladas de dicho parche similar,

55 - $\bar{y}_m$ es el vector de valores medios de los píxeles de los parches de dicho conjunto de parches similares, en donde se consideran los píxeles que no corresponden a una banda espectral inicial,

- y_d es el vector de píxeles correspondientes a una banda espectral inicial en dicho parche similar,

60 - $\bar{y}_d$ es el vector de valores medios de los píxeles de los parches de dicho conjunto de parches similares, en donde se consideran los píxeles correspondientes a una banda espectral inicial,

- Σ_{dd}^{-1} es la matriz inversa del primer bloque Σ_{dd} y

- Σ_{md} es el segundo bloque.

En algunas realizaciones, cuando se calculan las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas para parches similares con el mismo desfase, interviene una misma descomposición de la matriz de covarianza en bloques que se almacenan y reutilizan para todos estos parches similares con el mismo desfase.

La presente divulgación también tiene como objeto un producto de programa informático, que comprende instrucciones de código para implementar el procedimiento según la descripción anterior, cuando se ejecuta por un elemento de cálculo.

La presente divulgación también tiene como objeto un dispositivo de procesamiento de imágenes que comprende un elemento de cálculo, caracterizado por que está configurado para implementar el procedimiento según la descripción anterior.

Ventajosamente, este método permite obtener resultados mejorados en términos de calidad de reproducción y de robustez al ruido. En particular, el método según la invención permite reducir o incluso eliminar las imprecisiones de tipo iridiscente.

De forma aún más ventajosa, la invención permite mejorar la calidad de una imagen demosaicada obtenida a partir de un sensor equipado con un filtro de Bayer.

El método descrito también permite tener en cuenta la distribución espacial en la variación de precisión, que no es necesariamente isótropa, gracias a la matriz de covarianza. El método es ventajosamente no local y se basa en las similitudes entre un parche de píxeles de la imagen y un conjunto de parches similares, que pueden estar en posiciones próximas o alejadas en la imagen inicial.

Descripción de las figuras

Otras características, detalles y ventajas se desprenderán de la descripción detallada que se ofrece a continuación con referencia a las figuras que se muestran a modo de ejemplo, en las que:

Figura 1

[La figura 1] representa un ejemplo de parche de una imagen inicial en donde los píxeles están organizados en un patrón de Bayer.

Figura 2a

[La figura 2a] representa esquemáticamente las principales etapas del procedimiento de demosaicado según una realización de la invención.

Figura 2b

[La figura 2b] representa esquemáticamente las principales etapas del procedimiento de demosaicado según otra realización de la invención.

Figura 3a

[La figura 3a] representa un ejemplo de vector obtenido a partir de un parche de una imagen antes del demosaicado.

Figura 3b

[La figura 3b] representa un ejemplo de vector obtenido a partir de un parche de una imagen antes del demosaicado, correspondiendo el parche a una fase diferente de la representada en la figura 3a.

Figura 4

[La figura 4] representa esquemáticamente una descomposición por bloques de una matriz de covarianza de un conjunto de parches similares a un parche en cuestión.

Figura 5

[La figura 5] representa esquemáticamente un ejemplo de dispositivo de procesamiento de imágenes adaptado para implementar el procedimiento de demosaicado.

Descripción detallada de la invención

Con referencia a las figuras 2a y 2b, ahora se describirán ejemplos de procedimientos de demosaicado de una imagen suministrada por un sensor, denominada imagen inicial. Las imágenes iniciales pueden estar compuestas por píxeles pertenecientes a un espacio de color, por ejemplo con tres colores. Las imágenes iniciales también pueden ser imágenes de radar. Cada uno de los píxeles de la imagen inicial corresponde a una banda espectral inicial.

El procedimiento de demosaicado según la invención puede implementarse por un dispositivo 1 de procesamiento de imágenes representado esquemáticamente en la figura 5, que comprende un elemento 10 de cálculo que puede ser, por ejemplo, un procesador equipado o no con una tarjeta gráfica, un microprocesador o un microcontrolador. El dispositivo 1 de procesamiento de imágenes comprende en particular una interfaz de comunicación con al menos un sensor que suministra imágenes iniciales. El dispositivo 1 de procesamiento de imágenes también puede comprender una memoria 11 que almacena instrucciones de código ejecutadas por el elemento de cálculo para implementar el procedimiento, así como los datos necesarios para la implementación del procesamiento de una o varias imágenes.

La imagen inicial está formada por un conjunto de píxeles que tienen cada uno una banda espectral inicial que corresponde, por ejemplo, a un valor específico de un color detectado a partir de un conjunto de colores del sensor multispectral.

El sensor multispectral puede ser, por ejemplo, del tipo RGB, en donde las bandas espectrales detectadas en cada píxel de la imagen son el rojo, el verde o el azul, estando el sensor equipado a tal efecto con una matriz de filtros de colores adaptada para permitir que solo una parte del espectro luminoso atraviese cada píxel de la matriz.

Según otra realización, las bandas espectrales detectadas corresponden al espacio de color YUV.

El procedimiento de demosaicado puede aplicarse a varias bandas espectrales, por ejemplo en el espacio de color, donde los valores de ciertos píxeles están disponibles en forma de banda espectral inicial, mientras que otros faltan y deben interpolarse.

El sensor que genera la imagen inicial puede tener, por ejemplo, una configuración de Bayer, como se representa en la figura 1, en el espacio de color RGB. Cada píxel verde está representado por la letra "V", cada píxel rojo está representado por la letra "R" y cada píxel azul está representado por la letra "B". En esta configuración, los componentes del espacio de color son el rojo, el verde y el azul. El 50 % de los píxeles corresponden a la banda espectral verde, el 25 % de los píxeles corresponden a la banda espectral roja y el 25 % de los píxeles corresponden a la banda espectral azul. Los píxeles se organizan de modo que en un cuadrado con dos píxeles en cada lado, los dos píxeles de una diagonal corresponden a la banda espectral verde, mientras que la otra diagonal comprende un píxel rojo y un píxel azul.

Como se representa en la figura 2a, el procedimiento de demosaicado comprende, por ejemplo, un demosaicado 100 previo por interpolación lineal de la imagen inicial, que permite calcular las bandas espectrales intermedias. En caso de que las bandas espectrales correspondan al espacio de color RGB, se trata de asociar a cada píxel las dos bandas espectrales que faltan del rojo, el verde y el azul. Las bandas espectrales intermedias se utilizan en este caso como medio intermedio de cálculo.

Este demosaicado 100 por interpolación lineal puede elegirse entre métodos de demosaicado conocidos por el experto en la técnica. Por ejemplo, en el caso del espacio de color RGB, la demosaicado por interpolación lineal puede implementarse mediante el algoritmo Hamilton-Adams, tal como se describe en la patente US5.652.621.

En otra realización, como se muestra en la figura 2b, el procedimiento de demosaicado también puede comprender el procesamiento 200 de eliminación de ruido aplicado a la salida del demosaicado 100 por interpolación lineal para obtener bandas espectrales intermedias.

Este procedimiento 200 de eliminación de ruido puede elegirse entre los procedimientos de eliminación de ruido conocidos por el experto en la técnica, como por ejemplo un algoritmo de tipo NL-Bayes, tal y como se describe en el artículo de M. Lebrun *et al*, "Implementation of the "Non-Local Bayes" (NL-Bayes) Image Denoising Algorithm". El algoritmo de eliminación de ruido NL-Bayes comprende, por ejemplo, repetir dos veces seguidas una identificación de un conjunto de parches de imagen similares para calcular una matriz de covarianza del conjunto de parches similares, una estimación de una versión sin ruido a partir de la matriz de covarianza y una agregación para obtener una imagen con eliminación de ruido. La eliminación de ruido se lleva a cabo dos veces seguidas, por ejemplo, la primera vez en la imagen obtenida tras el demosaicado mediante interpolación lineal y la segunda vez en la imagen con eliminación de ruido.

Por ejemplo, el algoritmo de eliminación de ruido realiza un procesamiento de parches en la imagen.

También puede contemplarse un procesamiento de eliminación de ruido que no comprenda el cálculo de una matriz

de covarianza.

A lo largo del resto de la descripción, un parche es una pieza de la imagen de forma cuadrada que comprende un subconjunto de píxeles de la imagen. Un parche puede comprender entre 2 y 10 píxeles por lado y normalmente comprender entre 3 y 5. En la presente descripción se utiliza como ejemplo un parche de $k = 5$ píxeles por lado.

El procedimiento de demosaicado comprende entonces, por ejemplo, un conjunto de etapas implementadas sobre al menos un parche de la imagen y preferentemente sobre el conjunto de los parches de la imagen considerados sucesivamente. Los parches de referencia se determinan de antemano, por ejemplo, y se solapan entre dos parches sucesivos para cubrir el conjunto de la imagen. Por ejemplo, los parches de referencia pueden o no ser contiguos. Los parches de referencia contiguos pueden, por ejemplo, solaparse o no. Los parches de referencia no contiguos pueden, por ejemplo, estar más o menos separados unos con respecto a otro. Para los parches de referencia no contiguos, una zona de la imagen que no se cubre es, por ejemplo, inferior al 50 % de la imagen, incluso inferior al 25 % de la imagen, incluso inferior al 5 % de la imagen. La elección de la proporción de la imagen cubierta por los parches de referencia y su posible solapamiento se optimizará en función del caso de uso. La proporción de la imagen cubierta por los parches de referencia está comprendida, por ejemplo, entre el 50 % y el 100 %.

Para cada parche en cuestión, denominado parche de referencia, se realiza una etapa 310 de identificación de un conjunto de parches similares de la imagen al parche de referencia. La etapa 310 de identificación de un conjunto de parches de la imagen similares al parche en cuestión puede implementarse calculando una distancia entre el parche en cuestión y cada uno de los parches de la imagen pertenecientes a las proximidades del parche en cuestión, definiéndose las proximidades como una parte de la imagen de tamaño $n \times n$, en donde n es un número de píxeles estrictamente superior al número de píxeles k de un lado de un parche, e inferior o igual al número de píxeles de un lado menor de la imagen.

La distancia puede ser, por ejemplo, una distancia euclidiana o una distancia cuadrática normalizada, que se calcula del siguiente modo entre un parche P y un parche Q :

$$d^2(P, Q) = \frac{\|P - Q\|^2}{k^2}$$

La distancia puede calcularse sobre el conjunto de parches P y Q en cuestión o solo sobre una parte de los mismos, por ejemplo, una banda horizontal o vertical.

La distancia puede calcularse utilizando radiometría nativa, es decir, a partir de bandas espectrales iniciales de la imagen inicial. A modo de ejemplo no limitativo, en caso de que este espacio sea el espacio RGB, la distancia cuadrática normalizada puede calcularse como la suma, sobre todos los píxeles i de los parches P y Q , de la distancia $(P_{i,R} - Q_{i,R})^2 + (P_{i,G} - Q_{i,G})^2 + (P_{i,B} - Q_{i,B})^2$ en donde el índice R, G, B corresponde respectivamente al componente de color rojo, verde o azul del parche P o Q , respectivamente.

Alternativamente, la imagen inicial puede convertirse previamente en una etapa 205 a otro espacio de color, y la distancia cuadrática normalizada puede calcularse en este espacio. Por ejemplo, si la imagen inicial está en el dominio RGB, la imagen puede convertirse al dominio YUV utilizando una transformación conocida por el experto en la técnica. En este caso, la distancia cuadrática normalizada puede calcularse únicamente sobre el componente Y de luminancia.

Por ejemplo, la distancia se compara con un umbral determinado, por debajo del cual se considera que los parches son similares.

También puede proporcionarse un número mínimo de parches similares correspondientes a las distancias mínimas calculadas.

También puede proporcionarse un número mínimo de parches similares correspondientes a las distancias mínimas calculadas, además de cualquier parche cuya distancia sea inferior al umbral determinado.

Según una variante de realización, la identificación de un conjunto de parches similares al parche en cuestión puede comprender la aplicación de un análisis de componentes principales de la imagen en coordenadas nativas o transformadas, y el cálculo de una distancia (por ejemplo, euclídea) sobre los componentes de mayor peso derivados de este análisis.

Según otra realización, pueden determinarse y almacenarse parches similares durante una etapa previa de eliminación de ruido.

El procedimiento de demosaicado incluye una etapa 320 posterior de cálculo de una matriz de covarianza del conjunto de parches similares al parche de referencia.

La matriz de covarianzas puede calcularse sobre los valores de los píxeles de los parches en las bandas espectrales iniciales representadas en la imagen inicial, o dicho de otro modo, en radiometría nativa.

Según otra realización, la matriz de covarianza también puede calcularse sobre los píxeles de una imagen intermedia obtenida por demosaicado utilizando interpolación lineal, como se representa en la figura 2a, posiblemente complementada por eliminación de ruido, como se representa en la figura 2b.

Si fuera necesario, puede reutilizarse una matriz de covarianza calculada durante un procesamiento anterior.

Para calcular la matriz de covarianza para un conjunto de parches determinado, cada parche P se representa mediante un vector (P(1)...P(n)) en donde n corresponde al número de píxeles del parche multiplicado por el número de bandas espectrales. Por ejemplo, para el espacio de color de tres colores, las coordenadas vectoriales de 1 a n/3 corresponden a los valores de los píxeles del parche para el primer color, las coordenadas de n/3+1 a 2n/3 corresponden a los valores de los píxeles del parche para el segundo color y las coordenadas de 2n/3+1 a n corresponden a los valores de los píxeles del parche para el tercer color. Cada valor de una coordenada del parche es, por ejemplo:

- la banda espectral inicial del píxel disponible en la imagen inicial a la salida del sensor o,
- la banda espectral intermedia obtenida por demosaicado mediante interpolación lineal, posiblemente complementada por eliminación de ruido.

Por ejemplo, para los parches de color RGB que miden 5 píxeles por 5 píxeles, los parches comprenden 3 x 5 x 5 = 75 bandas espectrales, de las cuales 25 están disponibles en la imagen inicial y 50 faltan.

Cada parche de k píxeles en un lado de la imagen inicial se representa como un vector cuyos primeros k² términos corresponden a una banda espectral, por ejemplo el color rojo, los siguientes k² términos corresponden a otra banda espectral, por ejemplo el color verde, y los últimos k² términos corresponden a una tercera banda espectral, por ejemplo el color azul.

La matriz de covarianza es, por tanto, una matriz en la que cada término se define de la siguiente manera:

$$u_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (P_k(i) - \mu_i)(P_k(j) - \mu_j)$$

En donde:

- i y j son los índices de las coordenadas en la matriz,
- P_k(i) es el valor de la i-ésima coordenada del k-ésimo parche,
- μ_i es la media de P_k(i) para todos los k que varían de 1 a N,
- μ_j es la media de P_k(j) para todos los k que varían de 1 a N.
- N es el número de parches similares en el conjunto de parches similares al parche de referencia.

Por tanto, la matriz de covarianza cuantifica la covarianza de los valores de los píxeles de parches similares.

En el resto del procedimiento, se aprovecha el carácter disponible de un píxel, es decir, que tenga una banda espectral inicial, o el carácter ausente de un píxel, es decir, que no tenga una banda espectral inicial, para una imagen con varias bandas espectrales. La localización de los píxeles con carácter disponible o ausente depende del desfase del parche. Para determinar el desfase de un parche, debe considerarse la ubicación en el sensor matricial de un parche correspondiente en la imagen inicial. En el caso de un patrón de Bayer, por ejemplo, existen cuatro posibles desfases, dos de los cuales se muestran en las figuras 3a y 3b. También en estas figuras, los píxeles con un valor inicial según el componente rojo, verde o azul respectivo se representan respectivamente con la letra R, V, B. La figura 3a corresponde a un desfase en el que el píxel situado en la parte superior izquierda del parche se expresa en el componente verde de la imagen original, y la figura 3b corresponde a un desfase en el que el píxel situado en la parte superior izquierda del parche es el píxel expresado en el componente rojo.

El procedimiento de demosaicado comprende entonces en la etapa 330, para cada parche similar de dicho conjunto de parches similares, un cálculo de estimaciones de las bandas espectrales interpoladas, en función de una

descomposición en bloque de la matriz de covarianza, en donde la descomposición en cuatro bloques es una función del desfase de cada parche similar.

Con referencia a la figura 4, se representa esquemáticamente un ejemplo de descomposición por bloque de una matriz de covarianzas en función de la disponibilidad o no de las bandas espectrales de los píxeles de la imagen inicial. Esta descomposición por bloque da lugar, por ejemplo, a cuatro bloques, en función del desfase del parche similar según un par (L,C) correspondiente al L-ésimo píxel y al C-ésimo píxel del parche similar para asignar cada valor de la matriz a la fila L y a la columna C:

- en el bloque Σ_{mm} si el píxel L no corresponde a una banda espectral inicial y el píxel C no corresponde a una banda espectral inicial,

- en el bloque Σ_{md} si el píxel L no corresponde a una banda espectral inicial y el píxel C corresponde a una banda espectral inicial de las covarianzas calculadas entre un píxel con un carácter ausente y un píxel con un carácter disponible,

- en el bloque Σ_{dm} si el píxel L corresponde a una banda espectral inicial y el píxel C no corresponde a una banda espectral inicial, o

- en el bloque Σ_{dd} si el píxel L corresponde a una banda espectral inicial y el píxel C corresponde a una banda espectral inicial.

En el caso de un patrón de Bayer para el que hay cuatro desfases posibles de parches, pueden calcularse todas las descomposiciones por bloques de la matriz de covarianza y almacenarse para cálculos posteriores.

Posteriormente, para cada descomposición en bloques obtenida, los valores que faltan de cada parche en un subconjunto de parches del conjunto E cuyo desfase corresponde a la descomposición por bloque, se estiman en la etapa 340 utilizando un estimador bayesiano máximo a posteriori (MAP):

$$\tilde{x}_m = \underset{x_m}{\operatorname{argmax}} P(x_m | y_d)$$

En donde:

- $\tilde{x}_m$ es el estimador máximo a posteriori de x_m ,

- x_m es el vector de estimaciones de bandas espectrales interpoladas de dicho parche similar

- y_d es el vector de píxeles correspondientes a una banda espectral inicial en dicho parche similar.

Las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas se obtienen mediante el siguiente cálculo:

$$x_m = \bar{y}_m + \Sigma_{md} \Sigma_{dd}^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

En donde:

- x_m es el vector de estimaciones de las bandas espectrales interpoladas de dicho parche similar,

- $\bar{y}_m$ es el vector de valores medios de los píxeles de los parches de dicho conjunto de parches similares, en donde se consideran los píxeles que no corresponden a una banda espectral inicial,

- y_d es el vector de píxeles correspondientes a una banda espectral inicial en dicho parche similar,

- $\bar{y}_d$ es el vector de valores medios de los píxeles de los parches de dicho conjunto de parches similares, en donde se consideran los píxeles correspondientes a una banda espectral inicial,

- Σ_{dd}^{-1} es la matriz inversa del bloque Σ_{dd} definido anteriormente y

- Σ_{md} es el bloque definido anteriormente.

El procedimiento de demosaicado comprende entonces una etapa 350 de agregación en la que se estiman las bandas espectrales interpoladas para píxeles de parches pertenecientes a diferentes conjuntos de parches similares

en relación con diferentes parches de referencia. Por agregación se entiende la combinación de diferentes mediciones en una única variable, ya sea por una sencilla adición de los valores obtenidos o por adición de los valores ponderados. La agregación se implementa, por ejemplo, calculando una media de las estimaciones realizadas para un píxel y un componente.

Se obtienen de este modo el conjunto de las bandas espectrales interpoladas. La imagen demosaicada según la invención tiene una calidad mejorada y una reducción significativa de o incluso ausencia de iridiscencia, particularmente para aplicaciones que requieren observación a gran altitud, como la observación terrestre.

Anexo: demostración de la fórmula de estimación.

El estimador máximo a posteriori de x_m dados los datos disponibles de ruidos y_d viene dado por:

$$\tilde{x}_m = \underset{x_m}{\operatorname{argmax}} P(x_m | y_d)$$

Utilizando la fórmula de Bayes se obtienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_m &= \underset{x_m}{\operatorname{argmax}} P(x_m \cap y_d) \\ &= \underset{x_m}{\operatorname{argmax}} e^{-\frac{1}{2} [x_m - \bar{x}_m \quad y_d - \bar{y}_d] \begin{bmatrix} \Sigma_{mm} & \Sigma_{md} \\ \Sigma_{dm} & \Sigma_{dd} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_m - \bar{x}_m \\ y_d - \bar{y}_d \end{bmatrix}} \end{aligned}$$

$\begin{bmatrix} \Sigma_{mm} & \Sigma_{md} \\ \Sigma_{dm} & \Sigma_{dd} \end{bmatrix}$ es la matriz de covarianza de los datos que faltan (sin ruido) y los datos disponibles (con ruido). Se observa :

$$\begin{bmatrix} \Sigma_{mm} & \Sigma_{md} \\ \Sigma_{dm} & \Sigma_{dd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

Con las matrices A, B, C, D correspondientes respectivamente a las matrices Σ_{mm} , Σ_{md} , Σ_{dm} y Σ_{dd} .

$$\begin{aligned} \tilde{x}_m &= \underset{x_m}{\operatorname{argmax}} e^{-\frac{1}{2} [x_m - \bar{x}_m \quad y_d - \bar{y}_d] \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_m - \bar{x}_m \\ y_d - \bar{y}_d \end{bmatrix}} \\ &= \underset{x_m}{\operatorname{argmin}} [x_m - \bar{x}_m \quad y_d - \bar{y}_d] \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_m - \bar{x}_m \\ y_d - \bar{y}_d \end{bmatrix} \\ &= \underset{x_m}{\operatorname{argmin}} (x_m - \bar{x}_m)^T A (x_m - \bar{x}_m) + (x_m - \bar{x}_m)^T B (y_d - \bar{y}_d) + (y_d - \bar{y}_d)^T C (x_m - \bar{x}_m) \\ &\quad + (y_d - \bar{y}_d)^T D (y_d - \bar{y}_d) \end{aligned}$$

El último término no depende de x_m y, por tanto, puede suprimirse. Derivando con respecto a x_m se obtiene, por tanto:

$$2(x_m - \bar{x}_m)^T A + (y_d - \bar{y}_d)^T B^T + (y_d - \bar{y}_d)^T C = 0$$

$$2(x_m - \bar{x}_m)^T A + (y_d - \bar{y}_d)^T (B^T + C) = 0$$

$$2(x_m - \bar{x}_m)^T A + (y_d - \bar{y}_d)^T (B^T + C) A^{-1} = 0$$

Como la matriz de covarianzas es simétrica, su inversa también lo es. Por tanto, se obtiene $B^T = C$. Utilizando fórmulas de inversión por bloque (complemento de Schur) puede demostrarse que $CA^{-1} = -\Sigma_{dd}^{-1} \Sigma_{dm}$. Se obtiene:

$$(x_m - \bar{x}_m)^T - (y_d - \bar{y}_d)^T \Sigma_{dd}^{-1} \Sigma_{dm} = 0$$

$$x_m - \bar{x}_m = (\Sigma_{dd}^{-1} \Sigma_{dm})^T (y_d - \bar{y}_d)$$

$$x_m - \bar{x}_m = \Sigma_{md} \Sigma_{dd}^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

$$x_m = \bar{x}_m + \Sigma_{md} \Sigma_{dd}^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

Se asume que se han elegido parches similares tales como $\bar{y}_m \approx \bar{x}_m$.

$$x_m = \bar{y}_m + \Sigma_{md} \Sigma_{dd}^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

Si se utilizan los datos con eliminación de ruidos para calcular la matriz de covarianzas de los datos disponibles, puede utilizar la aproximación:

$$\Sigma_{dd} \approx \Sigma_{dd}^{\text{con elim. de ruido}} + \sigma^2 I$$

En donde $\Sigma_{dd}^{\text{con elim. de ruido}}$ es el bloque de la matriz de covarianza calculada a partir de los datos con eliminación de ruido disponibles, I es la matriz de identidad y σ^2 es la varianza del ruido. Puede demostrarse que Σ^{md} no cambia en este caso. Se obtiene:

$$x_m = \bar{y}_m + \Sigma_{md} (\Sigma_{dd}^{\text{con elim. de ruido}} + \sigma^2 I)^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de demosaicado aplicado a una imagen inicial que presenta píxeles que corresponden cada uno a una banda espectral inicial para obtener una imagen demosaicada con varias bandas espectrales que presentan píxeles que corresponden cada uno a dicha banda espectral inicial o a una banda espectral interpolada, **caracterizado por que** comprende:

- en base a una pluralidad de parches de referencia predeterminados y para cada parche de referencia de la pluralidad de parches de referencia:

- o una determinación (310) de un conjunto de parches similares a dicho parche de referencia,
- o una determinación (320) de una matriz de covarianza de dicho conjunto de parches similares, y

o para cada parche similar de dicho conjunto de parches similares, un cálculo de estimaciones de las bandas espectrales interpoladas, en función de una descomposición en bloque de la matriz (340) de covarianzas, en donde la descomposición en cuatro bloques es función del desfase de cada parche similar, y

- una determinación de las bandas espectrales interpoladas por agregación (350) de las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas, en donde las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas se agregan para cada píxel.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los parches de referencia predeterminados se distribuyen de manera que cubren una proporción determinada de la imagen.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que, al determinar la matriz de covarianzas del conjunto de parches similares, los parches similares comprenden bandas espectrales iniciales y bandas espectrales intermedias, derivándose estas bandas espectrales intermedias de un demosaicado previo por interpolación lineal aplicado a la imagen inicial.

4. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la determinación (310) de dicho conjunto de parches similares a cada parche de referencia se determina mediante una función de similitud aplicada a una imagen intermedia resultante de un demosaicado previo por interpolación lineal de la imagen inicial.

5. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que al determinar la matriz de covarianzas del conjunto de parches similares, los parches similares comprenden bandas espectrales iniciales y bandas espectrales intermedias, derivándose estas bandas espectrales intermedias de un demosaicado previo por interpolación lineal y una eliminación de ruido previa aplicada a la imagen inicial.

6. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la determinación (310) de dicho conjunto de parches similares a cada parche de referencia se determina mediante una función de similitud aplicada a una imagen intermedia resultante de un demosaicado previo por interpolación (100) lineal y una eliminación de ruido previa de la imagen inicial.

7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, en el que la eliminación de ruido consiste en una función de eliminación de ruido local aplicada a cada parche y una función de dicho conjunto de parches similares al parche en cuestión.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las bandas espectrales corresponden al espacio de color RGB o YUV.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las bandas espectrales corresponden al espacio de color RGB y los píxeles de la imagen inicial están organizados en un patrón de Bayer.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la agregación (350) de las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas se realiza calculando una media de dichas estimaciones de bandas espectrales interpoladas.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la descomposición en cuatro bloques según el desfase de dicho parche similar es función del par (L,C) correspondiente al píxel L-ésimo y al píxel C-ésimo de dicho parche similar, siendo cada valor de la matriz en la fila L y en la columna C, según se trate de:

- un píxel L correspondiente a una banda espectral inicial y un píxel C correspondiente a una banda espectral inicial, asignados a un primer bloque Σ_{dd}

- un píxel L que no corresponda a una banda espectral inicial y un píxel C que corresponda a una banda espectral

inicial, asignados a un segundo bloque Σ_{md}

- un píxel L que corresponda a una banda espectral inicial y un píxel C que no corresponda a una banda espectral inicial, asignados a un tercer bloque Σ_{dm}

o

- un píxel L no correspondiente a una banda espectral inicial y un píxel C no correspondiente a una banda espectral inicial, asignados a un cuarto bloque Σ_{mm} .

12. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que, para cada parche similar en dicho conjunto de parches similares, el cálculo de las estimaciones de bandas espectrales interpoladas se realiza de la siguiente manera:

$$x_m = \bar{y}_m + \Sigma_{md} \Sigma_{dd}^{-1} (y_d - \bar{y}_d)$$

En donde:

- x_m es el vector de estimaciones de las bandas espectrales interpoladas de dicho parche similar,

- $\bar{y}_m$ es el vector de valores medios de los píxeles de los parches de dicho conjunto de parches similares, en donde se consideran los píxeles que no corresponden a una banda espectral inicial,

- y_d es el vector de píxeles correspondientes a una banda espectral inicial en dicho parche similar,

- $\bar{y}_d$ es el vector de valores medios de los píxeles de los parches de dicho conjunto de parches similares, en donde se consideran los píxeles correspondientes a una banda espectral inicial,

- Σ_{dd}^{-1} es la matriz inversa del primer bloque Σ_{dd} y

- Σ_{md} es el segundo bloque.

13. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que durante el cálculo de las estimaciones de las bandas espectrales interpoladas para parches similares que presentan el mismo desfase, tiene lugar la misma descomposición de la matriz de covarianzas en bloques que se almacenan y reutilizan para todos estos parches similares que presentan el mismo desfase.

14. Producto de programa informático, que comprende instrucciones de código para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, cuando se ejecuta por un elemento de cálculo.

15. Dispositivo de procesamiento de imágenes que comprende un elemento (11) de cálculo, **caracterizado por que** está configurado para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13.

R	V	R	V	R
V	B	V	B	V
R	V	R	V	R
V	B	V	B	V
R	V	R	V	R

FIG. 1

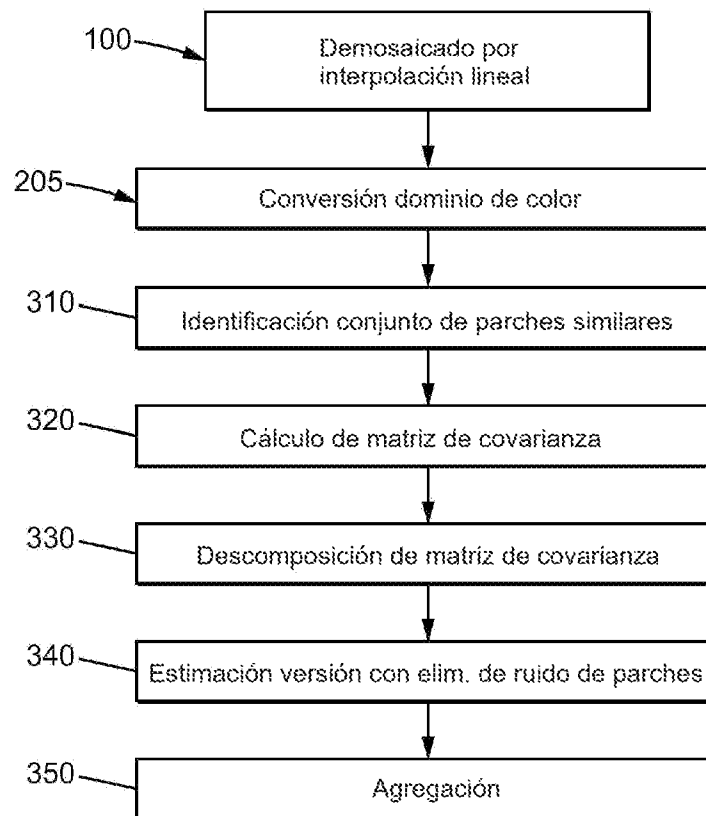


FIG. 2a

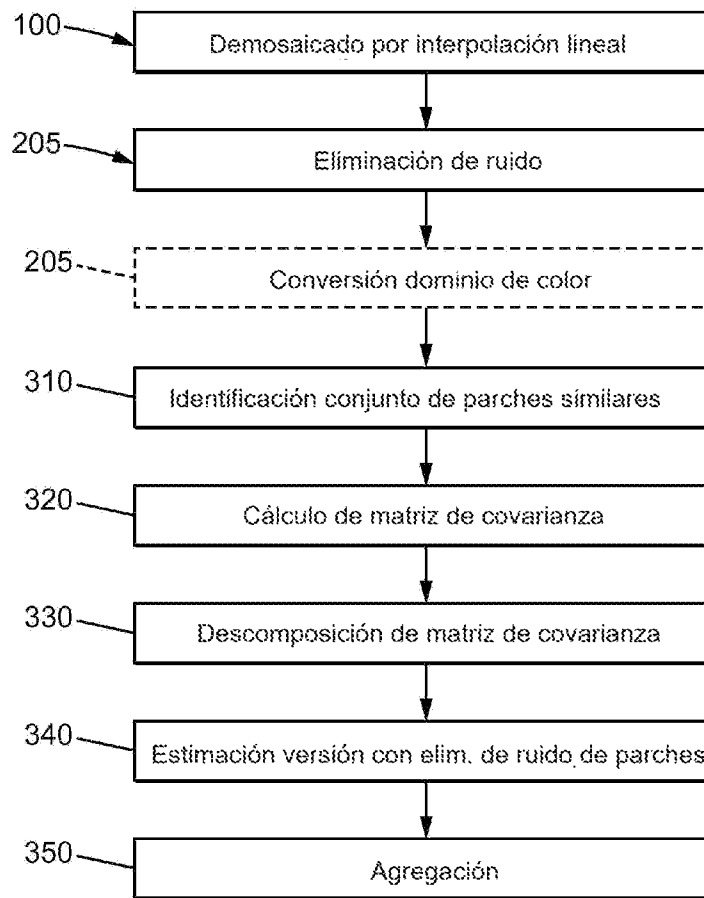
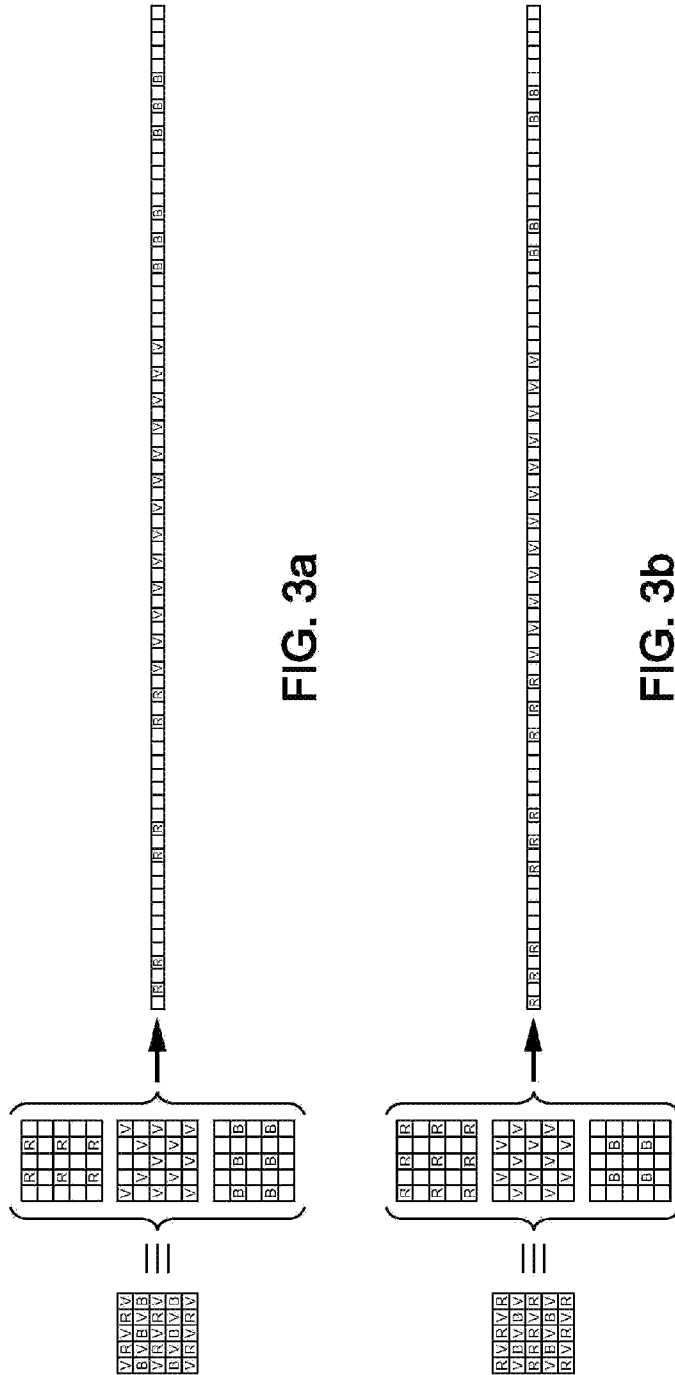


FIG. 2b



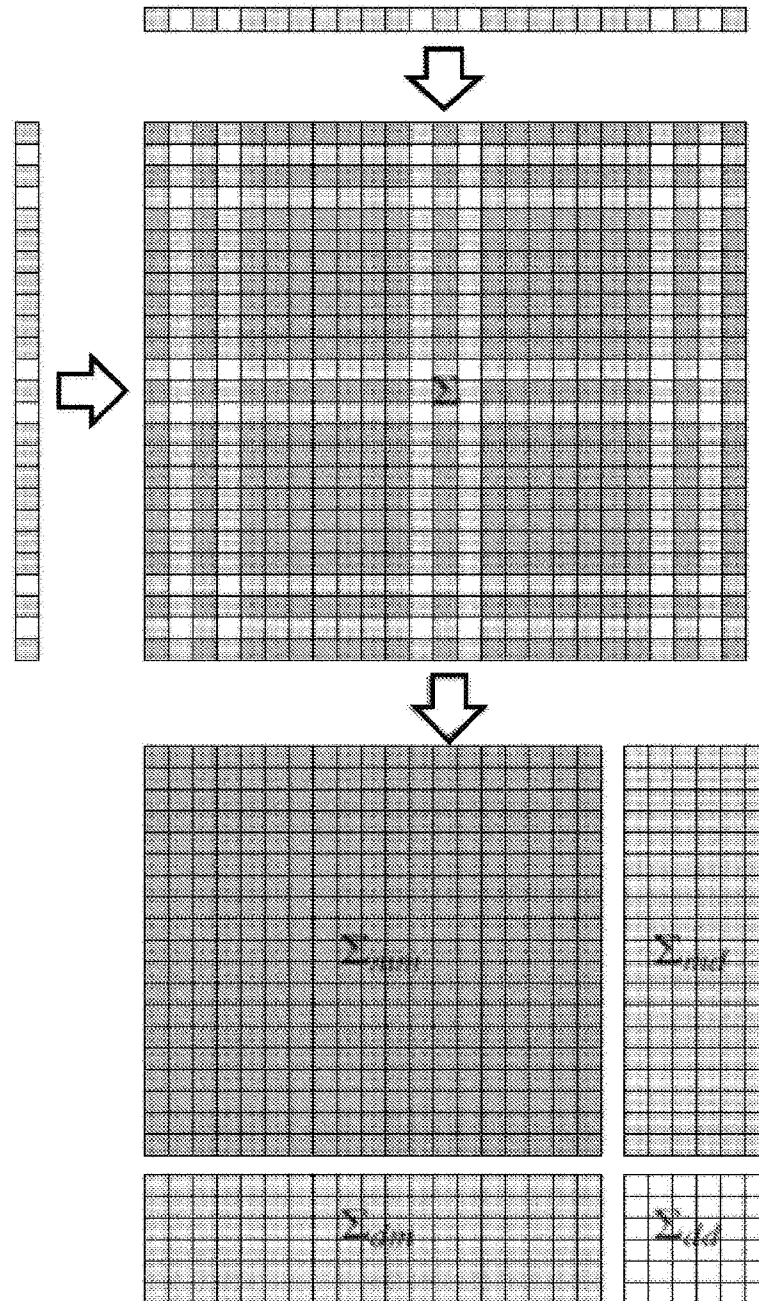


FIG. 4

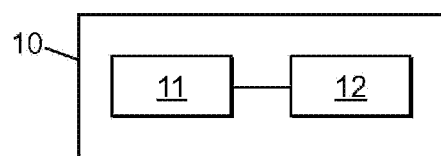


FIG. 5