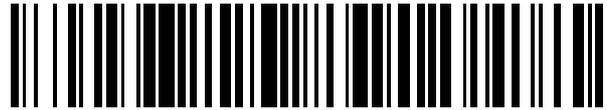


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 791 031**

51 Int. Cl.:

**G06T 3/40**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.07.2014 PCT/GB2014/052328**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15015195**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2014 E 14749963 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3028247**

54 Título: **Procesamiento de imágenes**

30 Prioridad:

**31.07.2013 GB 201313681**

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

**30.10.2020**

73 Titular/es:

**MBDA UK LIMITED (100.0%)  
Six Hills Way, Stevenage  
Hertfordshire SG1 2DA, GB**

72 Inventor/es:

**MATSON, GARY PAUL;  
SHERRIFF, ANDREW JOHN y  
MIDDLETON, ROBERT JAMES**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 791 031 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**

Procesamiento de imágenes

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo del procesamiento de imágenes y, en particular, a la generación de una imagen de mayor resolución a partir de una pluralidad de imágenes de menor resolución. La invención se refiere especialmente, pero no exclusivamente, al campo del procesamiento de imágenes en misiles guiados.

10

Antecedentes de la invención

La precisión de la detección, reconocimiento, identificación y seguimiento mediante sensores electroópticos depende de manera crítica de la calidad de la imagen; por lo tanto, se puede esperar que una mejor calidad de imagen produzca un mayor rendimiento. Sin embargo, en algunas aplicaciones es necesario lograr un equilibrio entre, por un lado, obtener la mejor calidad de imagen posible y, por otro lado, obtener una imagen rápidamente y con procesador y otros requisitos de hardware que no son demasiado exigentes. Por ejemplo, en el campo de los misiles guiados, la provisión de imágenes de mayor calidad que las proporcionadas por los sistemas existentes aumentaría la distancia sobre la cual un sistema de procesamiento de imágenes asociado con el misil puede operar con éxito, lo que permite que el operador dispare antes y permanezca fuera de peligro, y/o reduciría los costes, el peso y el riesgo de desarrollo. Sin embargo, normalmente, los misiles guiados tienen un tamaño y peso limitados, y viajan a una velocidad muy alta en relación con su objetivo, y, por lo tanto, existen limitaciones significativas en las técnicas de procesamiento de imágenes que se pueden utilizar. Varias técnicas de procesamiento de imágenes de la técnica anterior que proporcionan imágenes de alta calidad son lentas y computacionalmente exigentes.

15

20

25

El documento US2010/259607A1 se refiere a la orientación de misiles a objetivos y desvela la adquisición de una imagen y su extracción desde una región de interés (ROI) que comprende el objetivo, proporcionando y actualizando iterativamente una imagen supermuestreada actual de la ROI, la actualización implica una combinación ponderada de la imagen supermuestreada anterior y de una porción del fotograma actual, de modo que dicha combinación ponderada usa ponderaciones que son una máscara por píxel del número de marcos promedio en la imagen supermuestreada. Se usa un FIFO para almacenar fotogramas de imagen de datos y cuando un fotograma de imagen almacenado alcanza el final del FIFO, se elimina del FIFO. El documento US2012/141042A1 tiene como objetivo realizar una superresolución de fotogramas completos, por ejemplo, para la conversión de SD en HD y funciona calculando una predicción de la imagen de superresolución para un fotograma actual a partir de la imagen de superresolución anterior mediante la aplicación de un parámetro de transformación geométrica obtenido correlacionando los fotogramas de baja resolución actuales y anteriores, calculando a partir de la imagen de superresolución actual predicha una versión de imagen de baja resolución de la misma, calculando una diferencia entre dicha versión de imagen de baja resolución y la imagen de baja resolución actual realmente introducida y calculando una media ponderada entre un resultado de sobremuestreo de dicha diferencia a alta resolución y dicha imagen de superresolución actual predicha.

30

35

40

Sería ventajoso proporcionar un método y un aparato para el procesamiento de imágenes en el que las desventajas mencionadas se reduzcan o al menos mejoren.

Divulgación de la invención

45

La invención se expone en las reivindicaciones adjuntas.

Un ejemplo de método de procesamiento de imágenes comprende las etapas de:

50

- (i) obtener una imagen que incluye un objeto objetivo, estando la imagen formada por una matriz de píxeles;
- (ii) extraer de la imagen una porción de fotograma actual, siendo la porción del fotograma al menos una porción de los píxeles que forman la imagen, correspondiente a una región de interés en la imagen, comprendiendo la región de interés el objeto objetivo;
- (iii) proporcionar una porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente, correspondiente a la región de interés en la imagen; y
- (iv) calcular una porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual (es decir, no es una porción de fotograma superresuelto) y la porción de fotograma superresuelto actual.

55

60

Puede ser que en la etapa de calcular la porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual y la porción de fotograma superresuelto actual, la porción de fotograma actual y el fotograma superresuelto actual se ponderan entre sí, por ejemplo, con ponderaciones respectivas, en el cálculo. Las ponderaciones pueden estar predeterminadas. Las ponderaciones respectivas (es decir, para la porción de fotograma actual y el fotograma superresuelto actual) pueden ser constantes para una realización/ejecución dada del método. Puede ser que el método comprenda además repetir las etapas (i) a (iv) una pluralidad de veces, para que las etapas (i) a (iv) del método se repitan para imágenes sucesivas. Las ponderaciones dadas en el cálculo de la imagen superresuelta pueden ser tales que, en efecto, la contribución que una porción de fotograma dada hace que la imagen

65

superresuelta disminuya efectivamente desde un cálculo de la imagen superresuelta a la siguiente. El método se puede realizar de manera que la contribución que una porción de fotograma dada efectivamente hace que la imagen superresuelta disminuya progresivamente en una multiplicidad de repeticiones (por ejemplo, cinco o más, o tal vez diez o más, tales repeticiones) de las etapas (i) a (iv). El método puede realizarse de modo que la contribución que una porción de fotograma dada hace efectivamente al cálculo de la imagen superresuelta disminuye progresivamente desde un cálculo de la imagen superresuelta a la siguiente para todas las porciones de fotograma efectivamente utilizadas en el cálculo. Por lo tanto, el peso efectivamente dado en el cálculo de la imagen superresuelta a la porción de fotograma actual puede ser mayor que el peso efectivamente dado en el cálculo a cualquier porción de fotograma anterior. Se apreciará que, en ciertas realizaciones, las porciones de fotograma anteriores pueden no ser ponderadas individualmente o, de hecho, usadas individualmente en el cálculo. El método de tales realizaciones puede, simplemente, usar la porción de fotograma superresuelto actual calculada anterior (que es efectivamente una combinación de porciones de fotograma anteriores) y la porción de fotograma actual.

Puede ser que las ponderaciones respectivas utilizadas en el cálculo de cada una de las porciones de fotograma superresuelto actualizadas sucesivas sean tales que la contribución efectiva hecha a la porción de fotograma superresuelto por una porción de fotograma dada se deteriore progresivamente con cada porción de fotograma superresuelto calculada sucesivamente. Puede ser que el cálculo de la porción de fotograma superresuelto actualizada utilice una porción de fotograma superresuelto actual deteriorada. Puede ser que la porción de fotograma superresuelto actual se deteriore al darle una ponderación más baja en el cálculo de la porción de fotograma superresuelto actualizada que una ponderación dada a la porción de fotograma actual. Tal ponderación relativa puede dar como resultado que las porciones de fotograma más recientes tengan un peso significativo mayor que las porciones de fotograma más antiguas. Como tal, la porción de fotograma superresuelto actual puede deteriorarse de manera relativamente rápida con el tiempo. Puede ser que la porción de fotograma superresuelto actual se deteriore dando a cada píxel en la porción de fotograma superresuelto actual una ponderación más baja que una ponderación dada a cada píxel en la porción de fotograma actual.

Puede ser que la porción de fotograma superresuelto actual se deteriore al darle una ponderación más alta en el cálculo de la porción de fotograma superresuelto actualizada que una ponderación dada a la porción de fotograma actual. Tal ponderación relativa puede dar como resultado que las porciones de fotograma anteriores tengan colectivamente un peso relativamente mayor que las porciones de fotograma más nuevas. Como tal, la porción de fotograma superresuelto actual puede deteriorarse efectivamente de manera relativamente lenta con el tiempo.

Puede ser que el valor  $S^M$  y del píxel en  $(x, y)$  en la porción de fotograma superresuelto actualizada calculada en la  $n$ -ésima iteración del método sea:

$$\begin{aligned} S_{x,y}^n &= (1 - \alpha)F_{x,y}^n + \alpha S_{x,y}^{n-1} = (1 - \alpha)F_{x,y}^n + \alpha((1 - \alpha)F_{x,y}^{n-1} + \alpha S_{x,y}^{n-2}) \\ &= (1 - \alpha)F_{x,y}^n + \alpha((1 - \alpha)F_{x,y}^{n-1} + \alpha((1 - \alpha)F_{x,y}^{n-2} + \alpha S_{x,y}^{n-3})) = \dots \\ &= \alpha^{n-1}F_{x,y}^1 + (1 - \alpha) \cdot (\alpha^{n-2}F_{x,y}^2 + \dots + \alpha^2F_{x,y}^{n-2} + \alpha F_{x,y}^{n-1} + F_{x,y}^n) \\ &= \alpha^{n-1}F_{x,y}^1 + (1 - \alpha) \sum_{p=2}^n \alpha^{n-p} F_{x,y}^p \end{aligned}$$

donde  $F_{x,y}^n$  es el píxel  $(x, y)$  de la porción de fotograma actual (es decir,  $n$ -ésima iteración) y  $\alpha$  es un factor de deterioro constante, donde  $0 < \alpha < 1$ , y  $S_{x,y}^1 = F_{x,y}^1$ . Se verá que en el caso en el que  $\alpha = 0,5$ , la ponderación aplicada a la porción de fotograma superresuelto actual es igual a la ponderación aplicada a la porción de fotograma actual.

Puede ser que la porción del fotograma extraída en cada iteración de la etapa (ii) después de la primera iteración corresponda a una región de interés identificada en la imagen utilizada en la primera iteración de la etapa (ii).

Crear imágenes superresueltas a partir de una pluralidad de imágenes es una técnica conocida para sintetizar una imagen de mayor resolución a partir de una pluralidad de imágenes de menor resolución. Se utiliza, por ejemplo, en astronomía para generar mejoras significativas en la resolución de objetos de interés astronómico. Sin embargo, las técnicas de superresolución conocidas, por ejemplo, en astronomía, son composiciones de muchas imágenes y son lentas y requieren una gran cantidad de potencia de procesamiento informático. Ventajosamente, el método reivindicado es un método para generar imágenes superresueltas que es más rápido y menos exigente en términos informáticos que las técnicas de la técnica anterior. En algunas realizaciones, es capaz de proporcionar imágenes superresueltas incluso de objetos en movimiento rápido en relación con el detector. Ventajosamente, el método puede proporcionar las porciones de fotograma superresuelto en tiempo real.

Puede ser que el método se lleve a cabo usando, por ejemplo, un generador de imágenes y al menos un

microprocesador de propósito general o especial.

Este método también tiene la ventaja particular de un bajo requerimiento de memoria del ordenador. Al calcular la porción de fotograma superresuelto actualizada en una iteración dada, puede ser que el método tenga en cuenta datos contenidos en las porciones de fotograma obtenidas en iteraciones anteriores, pero no necesita almacenar esas porciones de fotograma, o incluso las porciones relevantes de ellas, en la memoria; toda la información relevante está contenida dentro de la porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente.

Puede ser que la región de interés se defina en una primera imagen obtenida del generador de imágenes. Puede ser que la región de interés esté definida por un operador. Puede ser que la región de interés esté definida por un algoritmo, por ejemplo, un algoritmo de reconocimiento de objetos.

Es posible que se suponga que la región de interés se encuentra en la imagen actual en la posición de la región de interés en una imagen anterior.

Puede ser que el objetivo se identifique en una primera imagen obtenida del generador de imágenes. Puede ser que el objetivo sea identificado en la imagen por un operador. Puede ser que el objetivo sea identificado en la imagen mediante un algoritmo de reconocimiento de objetivo.

Es posible que se suponga que el objeto objetivo está en la imagen actual en la posición del objeto objetivo en una imagen anterior. Puede ser que el objetivo se rastree entre imágenes.

Puede ser que la porción del fotograma superresuelto se construya utilizando un registro calculado a partir del rastreo.

Puede ser que el cambio de traslación entre la porción de fotograma actual y la porción de fotograma superresuelto actual se calcule mediante una correlación en el dominio espacial. Puede ser que el cambio de traslación entre la porción de fotograma actual y la porción de fotograma superresuelto actual se calcule mediante corrección de fase en el dominio de frecuencia. Puede ser que el cambio de traslación entre la porción del fotograma actual y la porción del fotograma superresuelto actual se calcule mediante un método iterativo en el que el resultado de uno de los dos métodos anteriores se use como una suposición inicial para construir una porción de fotograma superresuelto estimado y el registro se repite para producir la porción de fotograma superresuelto óptima.

Puede ser que la posición del objetivo en la imagen se determine mediante correlación cruzada. Puede ser que la correlación cruzada sea con una versión sin resolución de una porción de fotograma de superresolución calculada en una iteración previa del método. Puede ser que la correlación cruzada sea con una versión sin resolver de la porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente.

Puede ser que se calcule un cambio en la posición del objeto objetivo en imágenes sucesivas y la parte entera del cambio calculado se usa para cambiar la región de interés en la imagen posterior en relación con la posición de la región de interés en la imagen anterior.

Puede ser que se extraiga de la imagen una porción del fotograma de trabajo. Puede ser que se extraiga de la imagen una porción del fotograma de trabajo y se use para identificar la ubicación de la región de interés. Puede ser que la porción del fotograma de trabajo se extraiga de la ubicación aproximada del objeto de destino, por ejemplo, el mismo conjunto de ubicaciones de píxeles que se extrajeron para formar la porción del fotograma anterior. Puede ser que la porción del fotograma de trabajo se correlacione de forma cruzada con la porción del fotograma no superresuelto calculado previamente no resuelto. Puede ser que se obtenga de ese modo el cambio en la posición del objetivo en la porción del fotograma de trabajo en comparación con la posición del objetivo en la porción del fotograma superresuelto calculado previamente no resuelto previamente resuelto. Puede ser que ese cambio de posición se descomponga en un desplazamiento de un número entero de píxeles y un desplazamiento de una fracción de píxel. Puede ser que el desplazamiento de número entero se use para definir una ubicación para otra porción de fotograma, es decir, la ubicación de la porción de fotograma precedente se traslada por el desplazamiento de entero para dar la ubicación de la porción de fotograma adicional. Puede ser que se extraigan los píxeles que forman la porción de fotograma adicional, correspondiente a una región de interés reubicada.

Puede ser que se realice una etapa de eliminación del desenfoque. Puede ser que la eliminación del desenfoque de la imagen sumada se lleve a cabo utilizando ecuaciones formuladas dentro del dominio de la imagen.

Puede ser que el algoritmo de superresolución se lleve a cabo solo en los píxeles de la porción de fotograma actual que se superponen con los píxeles de la porción del fotograma superresuelto actual previamente calculada. Puede ser que el algoritmo de superresolución se lleve a cabo en todos los píxeles de la porción de fotograma actual y de la porción de fotograma superresuelto previamente calculada (es decir, incluidas todas las regiones límite). Puede ser que el algoritmo de superresolución se lleve a cabo utilizando solo los píxeles correspondientes a los píxeles de la porción de fotograma del primer pase del método.

Puede ser que las porciones de fotograma superresueltas se envíen a un usuario. Como alternativa, puede ser que

las porciones de fotograma superresueltas se pasen a otra unidad automatizada, donde se utilizan en otros procesos automatizados.

Un ejemplo de aparato de procesamiento de imágenes comprende:

- 5
- (i) un generador de imágenes para obtener una imagen que incluye un objeto objetivo, estando la imagen formada por una matriz de píxeles;
  - (ii) un procesador de imagen configurado para

- 10
- a. extraer una porción del fotograma actual de la imagen, siendo la porción del fotograma al menos una porción de los píxeles que forman la imagen, correspondiente a una región de interés en la imagen, comprendiendo la región de interés el objeto objetivo;
  - b. obtener una porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente, correspondiente a la región de interés en la imagen;
  - 15
  - c. aplicar una ponderación a la porción del fotograma actual y la porción del fotograma superresuelto actual, uno con respecto al otro de manera predeterminada;
  - d. calcular una porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual ponderada y la porción de fotograma superresuelto actual; y
  - 20
  - e. repetir una pluralidad de veces las etapas a a d para imágenes sucesivas, siendo las ponderaciones respectivas utilizadas en el cálculo de cada una de las porciones de fotograma superresuelto sucesivas actualizadas tales que la contribución efectiva hecha a la porción de fotograma superresuelto por una porción de fotograma dada se deteriora progresivamente con cada porción de fotograma superresuelto calculada sucesivamente.

25 Puede ser que el procesador de imágenes incluya un captador de fotogramas configurado para obtener la imagen del generador de imágenes. Puede ser que el procesador de imágenes incluya un módulo de extracción de la región de interés, al que el captador de fotogramas proporciona la imagen obtenida.

30 Puede ser que el aparato de procesamiento de imágenes incluya una interfaz gráfica de usuario para que un usuario defina la región de interés.

Puede ser que el procesador de imágenes incluya una calculadora de desplazamientos configurada para proporcionar información sobre un desplazamiento de la región de interés en imágenes sucesivas.

35 Puede ser que el procesador de imágenes incluya un correlacionador cruzado.

Puede ser que el procesador de imágenes incluya un módulo de superresolución configurado para usar un desplazamiento de fracción de la región de interés, por ejemplo, en imágenes sucesivas, para crear una imagen superresuelta a partir de una pluralidad de imágenes.

40 Puede ser que el procesador de imágenes incluya un módulo de reducción de la resolución configurado para calcular una imagen de resolución reducida y pasarla a un correlacionador cruzado.

Puede ser que la salida del correlacionador cruzado se pase a la calculadora de desplazamiento.

45 Se proporciona un buscador de misiles que incluye un aparato de procesamiento de imágenes como se ha descrito anteriormente.

Un ejemplo de producto de programa informático está configurado para causar, cuando se ejecuta el programa informático, un aparato de procesamiento de datos para:

- 50
- (i) recibir una imagen que incluye un objeto objetivo, estando la imagen formada por una matriz de píxeles;
  - (ii) extraer de la imagen una porción de fotograma actual, siendo la porción del fotograma al menos una porción de los píxeles que forman la imagen, correspondiente a una región de interés en la imagen, comprendiendo la región de interés el objeto objetivo;
  - 55
  - (iii) proporcionar una porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente, correspondiente a la región de interés en la imagen;
  - (iv) aplicar una ponderación a la porción de fotograma actual y a la porción de fotograma superresuelto actual, uno con respecto al otro de manera predeterminada;
  - 60
  - (v) calcular una porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual ponderada y la porción de fotograma superresuelto actual; y
  - (vi) repetir una pluralidad de veces las etapas (i) a (v) para imágenes sucesivas, siendo las ponderaciones respectivas utilizadas en el cálculo de cada una de las porciones de fotograma superresuelto sucesivas actualizadas tales que la contribución efectiva hecha a la porción de fotograma superresuelto por una porción de fotograma dada se deteriora progresivamente con cada porción de fotograma superresuelto calculada sucesivamente.
  - 65

Breve descripción de los dibujos

5 Las realizaciones de ejemplo de la invención se describirán a continuación solo a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, de los cuales:

la figura 1 es una representación de (a) cuatro píxeles de baja resolución y (b) sus correspondientes cuatro por dieciséis píxeles de alta resolución;

10 la figura 2 es una representación de dos imágenes de baja resolución y su combinación;

la figura 3 es una ilustración de la mejora de imágenes borrosas derivada de la superresolución;

15 la figura 4 es un diagrama de bloques que muestra los componentes de un aparato de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención; y

la figura 5 es un diagrama de flujo que muestra las etapas en un método de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención.

20 Descripción detallada

Los algoritmos de superresolución han estado en la literatura abierta al público durante varios años, pero son lentos.

25 Una sencilla implementación de la superresolución en tiempo no real toma como entrada una pila de imágenes de baja resolución y proporciona como salida una sola imagen de mayor resolución. Para lograrlo, se llevan a cabo de forma secuencial tres etapas principales de procesamiento, en concreto, registro, resumen y eliminación del desenfoque.

30 En muchas aplicaciones, tales como la astronomía, en las que solo se requiere una imagen de una pila de imágenes históricas, se han desarrollado algoritmos exigentes a nivel informático, para generar la mejor imagen superresuelta posible. Por el contrario, en algunas realizaciones a modo de ejemplo de la invención, no se busca la mejor imagen superresuelta posible, sino más bien una imagen que es "suficientemente buena" y que se puede construir en el tiempo disponible (por ejemplo, milisegundos), en el hardware disponible (por ejemplo, procesadores integrados).

35 En realizaciones de ejemplo de la presente invención, la superresolución continua de una región de interés (ROI) dentro de una imagen se proporciona en tiempo real. Un buscador típico de misiles tendrá una matriz de sensores de al menos 320x240 píxeles y por varias razones no es realista intentar superresolver toda la escena. Una razón es la potencia de procesamiento y los requisitos de memoria: simplemente hay demasiados píxeles para llevar a cabo una superresolución en un tiempo razonable, incluso con un procesador potente. Otra razón es que, si el movimiento del  
40 objetivo y el movimiento de fondo son diferentes, no será posible superresolver ambos y, en un escenario típico donde el objetivo es pequeño, hacerlo daría como resultado una imagen en la que el fondo estaba superresuelto, pero el objetivo estaba difuminado, que sería peor que la imagen original. En cambio, es deseable superresolver un pequeño parche de la imagen indicada como una región de interés (ROI).

45 El método reduce en gran medida la potencia de procesamiento y la memoria necesarios para construir la imagen de superresolución. Este método funciona con la nueva ROI y la imagen de superresolución actual, que se ha calculado en una iteración anterior del método. En cada etapa de tiempo, la nueva ROI se registra con una precisión de subpíxel con la versión sin resolución de la imagen de superresolución actual. La ROI de la imagen de superresolución actual se deteriora después por un factor predeterminado y se añade la nueva imagen de la ROI; el valor del factor de deterioro dicta cuantos fotogramas están incluidos en una ROI en la superresolución antes de que su contribución se  
50 haga insignificante.

55 En la superresolución de una ROI, la ROI de la imagen capturada más recientemente se combina con la imagen superresuelta calculada en el pase anterior del método. Por lo tanto, en cada pase del método, la imagen superresuelta se actualiza con la última ROI. El peso dado en el cálculo de la imagen superresuelta a la ROI de cada pase del método disminuye a medida que la ROI envejece; es decir, las ROI anteriores reciben menos peso en el cálculo que las ROI posteriores.

60 Cuando se le proporciona una secuencia de imágenes, se define un objetivo en el primer fotograma (ya sea por un operador o por algún algoritmo corriente arriba) y se extrae una región de interés alrededor de este objetivo. En esta etapa, una superresolución de la ROI produce simplemente la ROI original.

65 En fotogramas posteriores, se rastrea el objetivo designado y se extraen más ROI. Hay muchas formas diferentes en que se puede rastrear el objetivo, pero el método utilizado en este ejemplo es la correlación cruzada utilizando una versión no resuelta de la imagen de superresolución actual. Este método de rastreo se usa por dos razones. En primer lugar, la versión no resuelta de la imagen de superresolución (SR) es una predicción de cómo debería verse la imagen

con la resolución base del sensor. Es, de forma inherente, muy estable y contiene menos ruido que cualquiera de las imágenes aisladas porque el ruido se ha promediado mediante el proceso de SR. En segundo lugar, el proceso de SR puede reutilizar varios cálculos realizados para realizar el rastreo de esta manera para reducir la carga de computación.

5 Cuando se le proporciona un nuevo fotograma, se extrae un parche de imagen en la ubicación aproximada de la ROI. Suponiendo que el movimiento del objetivo dentro del campo de visión es pequeño, este puede ser simplemente la posición de la ROI del fotograma anterior; Si ese no es el caso, se puede utilizar un rastreador más sofisticado para sembrar la posición aproximada de la ROI. Este parche de imagen se registra a nivel de precisión de subpíxel con la versión no resuelta de la imagen SR actual. La parte entera del desplazamiento computado se usa para desplazar la  
10 ventana de extracción dentro del campo de visión y se extrae la nueva ROI objetivo, de forma que solo exista un desplazamiento fraccional. Esta parte fraccional del desplazamiento se propaga al algoritmo SR para proporcionar el movimiento de subpíxeles requerido por el algoritmo.

15 En el fotograma dos, la ROI extraída se combina con la ROI del fotograma uno en el algoritmo de superresolución, en el que a la ROI del fotograma uno se le da un peso menor que a la ROI del fotograma dos. Pasando al tercer fotograma, la ROI se combina con la imagen superresuelta calculada a partir del primer y segundo fotogramas, y a la imagen superresuelta se le da un peso menor que a la ROI, y así sucesivamente. La imagen SR continuará actualizándose a medida que se proporcionen más ROI. Sin embargo, la contribución de cada ROI a la imagen de superresolución es limitada, para evitar una diferencia grande de tiempo entre la ROI más antigua y la más reciente (lo que aumenta la  
20 posibilidad de que se produzca distorsión en la imagen, por ejemplo, un cambio de perspectiva, que no está modelada por el algoritmo SR en este ejemplo).

Por lo tanto, en este ejemplo, el valor  $S_{x,y}^n$  del píxel en (x,y) en la porción de fotograma de la imagen superresuelta calculada en la enésima iteración del método es:

25

$$\begin{aligned} S_{x,y}^n &= (1 - \alpha)F_{x,y}^n + \alpha S_{x,y}^{n-1} = (1 - \alpha)F_{x,y}^n + \alpha((1 - \alpha)F_{x,y}^{n-1} + \alpha S_{x,y}^{n-2}) \\ &= (1 - \alpha)F_{x,y}^n + \alpha((1 - \alpha)F_{x,y}^{n-1} + \alpha((1 - \alpha)F_{x,y}^{n-2} + \alpha S_{x,y}^{n-3})) = \dots \\ &= \alpha^{n-1}F_{x,y}^1 + (1 - \alpha) \cdot (\alpha^{n-2}F_{x,y}^2 + \dots + \alpha^2F_{x,y}^{n-2} + \alpha F_{x,y}^{n-1} + F_{x,y}^n) \\ &= \alpha^{n-1}F_{x,y}^1 + (1 - \alpha) \sum_{p=2}^n \alpha^{n-p} F_{x,y}^p \end{aligned}$$

30 donde  $F_{x,y}^n$  es el píxel (x, y) de la porción de fotograma actual (es decir, enésima iteración) y  $\alpha$  es un factor de deterioro constante, donde  $0 < \alpha < 1$ , y  $S_{x,y}^1 = F_{x,y}^1$ . Se observará que cuando  $\alpha$  tiende a la unidad, la porción de fotograma actual contribuye menos a la porción de fotograma superresuelto actualizada, mientras que cuando  $\alpha$  tiende a cero, las porciones del fotograma anterior (y, por tanto, las porciones del fotograma superresuelto) contribuyen menos a la porción de fotograma superresuelto actualizado. Por lo tanto, entre estos dos extremos, el valor de  $\alpha$  dicta la proporción de contribución relativa a la porción de fotograma superresuelto actualizada, como entre las porciones de fotogramas actuales y las porciones de fotogramas anteriores.

35 No es necesario ajustar los registros de imágenes calculados anteriormente, ya que todos ya están incorporados en la imagen SR actual. Después de este proceso, el cálculo de superresolución solo utiliza ROI que difieren en una fracción de un píxel, ya que el desplazamiento de píxel entero se ha tenido en cuenta en el proceso de extracción. La primera etapa tradicional del procesamiento de superresolución es calcular el registro de todas las imágenes en una sola imagen maestra, pero en este método de ejemplo que ya se ha calculado y, por lo tanto, no se repite; en cambio,  
40 es una entrada a la función principal de procesamiento de superresolución, que calcula la suma de la presente ROI y la ROI superresuelta anterior, y lleva a cabo la eliminación del desenfoque.

45 El proceso de suma consiste en ampliar los píxeles de la ROI por el factor de escala de superresolución y promediar los píxeles de la imagen que representan el desplazamiento de subpíxeles y el factor de ponderación. Con la imagen sumada calculada, se puede realizar eliminación del desenfoque opcionalmente, para eliminar el desenfoque que puede ser inherente al proceso de superresolución y también cualquier desenfoque adicional que pueda haberse producido en el proceso de captura de imágenes. Los métodos de eliminación del desenfoque adecuados se conocen en la técnica. Algunos de estos métodos de eliminación del desenfoque son de naturaleza iterativa. Cada iteración de  
50 tales métodos de eliminación del desenfoque es cara a nivel informático y, por lo tanto, para aplicaciones en tiempo real, no es factible iterar hasta la convergencia y, en su lugar, solo se calcula un número fijo de iteraciones, si, de hecho, se considera necesario eliminar el desenfoque en el contexto de la presente realización. El algoritmo de eliminación del desenfoque a menudo se describe en la literatura en notación lexicográfica, en la que las imágenes se expresan como vectores de columna, lo que permite una fácil exposición de las fórmulas implicadas; sin embargo, escribir software de esta manera daría como resultado unas matrices muy grandes (pero dispersas). En los casos en

los que se usa eliminación del desenfoque en la presente realización, se prefiere que el método empleado se lleve a cabo dentro del dominio de la imagen (es decir, una operación de eliminación del desenfoque en forma de convolución en lugar de una multiplicación de matriz).

5 La producción resultante de imágenes de superresolución en tiempo real permite un rendimiento mejorado de, por ejemplo, un sensor electroóptico, lo que permite reducciones de los costes, el peso y el riesgo de desarrollo. El sistema puede presentar imágenes mejoradas, por ejemplo, a un operador en el bucle o a algoritmos corriente abajo.

Los aspectos de las realizaciones de ejemplo de la invención se analizarán ahora con más detalle.

10 La primera parte de la mayoría de los algoritmos de superresolución (SR) es el registro de imágenes, en el que múltiples imágenes de baja resolución (LR) se registran entre sí. Hay varias formas de calcular el desplazamiento de traslación entre un par de imágenes. La correlación en el dominio espacial es un método robusto, pero relativamente lento de implementar, especialmente para imágenes grandes. Un método mucho más rápido, aunque no tan robusto  
15 para imágenes pequeñas, es la correlación de fase en el dominio de frecuencia. En otro método iterativo, el resultado de uno de los dos métodos anteriores se utiliza como una suposición inicial para construir una imagen SR estimada y el registro se repite para producir la imagen SR óptima.

20 Como se ha descrito anteriormente, después del cálculo de los desplazamientos de píxeles necesarios para el registro de la imagen, se resumen la última ROI y la última imagen superresuelta. En este método, la imagen de la ROI LR se escala a la densidad de píxeles deseada para SR, utilizando la interpolación próxima más cercana. La imagen de ROI ampliada y la última imagen superresuelta se apilan unas encima de otras en la ubicación correcta utilizando los desplazamientos de píxeles calculados previamente. A continuación, la suma ponderada de todos los valores de los píxeles se toma para cada píxel SR, generando una única imagen SR actualizada. Dicho proceso puede generar una  
25 imagen borrosa, incluso si todos los parámetros de registro se conocen exactamente, por lo que la etapa final (opcional) del proceso de superresolución es eliminar la imagen SR actualizada resultante.

Por lo tanto, la primera etapa de un algoritmo de superresolución, pero una etapa que se menciona insuficientemente en la literatura de superresolución, es registrar una secuencia de imágenes de baja resolución entre sí a dentro de  
30 precisión a nivel subpíxel. A continuación, se describen tres métodos de ejemplo diferentes para alinear las imágenes. Todos estos métodos de ejemplo suponen que el único movimiento entre imágenes es el movimiento de traslación, y no se tienen en cuenta otros tipos de movimiento, como rotación y cambio de escala; que obliga a cada vector de transformación a contener dos elementos, indicativos de una traslación horizontal y vertical. Tal movimiento de traslación podría producirse, por ejemplo, como resultado de la fluctuación en la lente de la cámara, causado, por  
35 ejemplo, por una cámara que viaja en un vehículo o avión en movimiento, o por el movimiento del objetivo dentro de la escena. En el caso de una cámara fija con movimiento del objetivo dentro de la escena, la imagen se recorta al objetivo para que los algoritmos de registro de la imagen no sean engañados por el fondo fijo.

40 En estos ejemplos, todas las imágenes se registran en relación con la primera imagen de la secuencia. Con esta elección, el vector de transformación inicial es igual a cero y todos los vectores de transformación posteriores contienen el desplazamiento horizontal y vertical de la imagen actual de la imagen 1. Este fotograma se utiliza en las descripciones de los diferentes métodos siguientes, en los que se supone que solo dos imágenes, imagen 1 e imagen 2, tienen que registrarse juntas; a continuación, el proceso de registro se repite para cada imagen posterior.

45 La correlación en el dominio espacial es un método computacional intuitivo y robusto, pero relativamente lento, para el registro de imágenes. En este método, las dos imágenes se superponen una encima de la otra en diferentes desplazamientos de píxeles enteros y la correlación se lleva a cabo en la región superpuesta. La correlación, en este ejemplo de realización, se calcula a partir del valor absoluto de la diferencia entre cada par de píxeles: la media de esos valores, tomada en toda la región, da una medida de qué lo bien que están alineadas las dos imágenes (se  
50 apreciará que las diferentes técnicas de correlación, tales como los métodos de "diferencia cuadrática", podrían usarse en realizaciones alternativas). Con superposición perfecta, la diferencia media de píxeles desaparece y, por lo tanto, cuanto menor sea esta medida, mejor será la alineación. El proceso continúa en todos los desplazamientos de píxeles enteros dentro de una superposición predefinida, para construir una superficie de correlación. La superposición predefinida se puede hacer más grande para un aumento en la velocidad de cálculo o reducirse para permitir que se  
55 tenga en cuenta el movimiento más grande; por ejemplo, podría elegirse un valor del 66 %, es decir, se supone que una imagen se ha trasladado en menos de un tercio de su anchura o altura.

60 Al completar la superficie de correlación, el desplazamiento de píxeles enteros de la imagen 2 desde la imagen 1 se puede calcular encontrando la ubicación del valor mínimo de la matriz. Para ampliar esta estimación para incluir desplazamientos de subpíxeles, se considera la superficie de correlación sobre este mínimo. Al ajustar una función cuadrática a través de los valores del punto mínimo y los dos puntos adyacentes, arriba y abajo, y, después, encontrar la ubicación del mínimo de esta función, se obtiene una estimación del desplazamiento vertical de los subpíxeles; repetir de manera similar en la dirección horizontal proporciona una posición completa del subpíxel. (Este método de  
ejemplo supone que no hay acoplamiento entre las direcciones vertical y horizontal).

65 Un método alternativo muy rápido (y para imágenes grandes y robustas) para determinar el registro de dos imágenes

es llevar a cabo la correlación de fase en el dominio de la frecuencia. Este es un método bien probado para calcular los desplazamientos de píxeles enteros que se ha ampliado recientemente para incorporar desplazamientos de subpíxeles.

5 Si se sabe que dos imágenes son idénticas a excepción de una traslación, es posible escribir una en función de las coordenadas que se desplazan en una cantidad fija en relación con las coordenadas de la otra. La matriz de correlación de fase se define como el espectro de potencia cruzada normalizado entre las transformadas de Fourier de esas funciones cuando está escrito así. Tomar la transformada inversa de Fourier de la matriz de correlación de fase produce una función delta centrada en la traslación y, por lo tanto, produce la traslación misma.

10 Por lo general, en el caso del desplazamiento de píxeles enteros, el método de correlación de fase proporciona un pico mucho más fuerte y más detectable que el obtenido a través de la correlación espacial; sin embargo, cuando se trata de desplazamientos fraccionales de píxeles, el pico de la función delta se extiende sobre múltiples píxeles, lo que hace que la determinación del desplazamiento sea imprecisa.

15 Un método para superar este problema es sobremuestrear las imágenes a una resolución más alta antes de realizar la correlación de fase; sin embargo, esto aumentará espectacularmente la carga computacional. El enfoque adoptado en este ejemplo es resolver el problema en el dominio de la frecuencia y, por lo tanto, eliminar la necesidad de calcular una transformada inversa de Fourier. En el dominio de frecuencia, la única variable relevante es el desplazamiento de fase, que contiene los dos parámetros desconocidos de la traslación. El desplazamiento de fase, cuando se desenvuelve del envoltorio  $2\pi$  inherente, forma un plano que pasa por el origen y, por lo tanto, desde este plano se pueden determinar los valores de los parámetros de la traslación.

20 Un tercer enfoque es llevar a cabo el registro de la imagen al mismo tiempo que optimiza la imagen de superresolución con un método iterativo. Asumiendo un registro inicial, que podría ser simplemente que cada imagen tiene desplazamiento cero o usando uno de los métodos anteriores para proporcionar una estimación preliminar, se construye una imagen de superresolución inicial. A partir de esta estimación de la escena del mundo real, se puede aplicar el modelo de observación, sin ruido ni términos borrosos, para aproximar las imágenes LR originales. Esto equivale a realizar promedios sobre bloques de píxeles de alta resolución (HR) para estimar los valores de píxeles LR. Estas imágenes LR estimadas se pueden comparar con las imágenes LR originales y el registro se puede ajustar hasta que se minimice alguna medida de coste.

25 Después de generar una estimación del registro de la imagen, se puede construir una primera aproximación a una imagen de superresolución apilando la ROI actual sobre la última imagen superresuelta, teniendo en cuenta los desplazamientos de píxeles relevantes. Se elige un factor de mejora de la resolución para que sea un número entero  $m$ , mayor que la unidad, y cada píxel LR en la ROI se divide en  $m \times m$  píxeles HR, que es equivalente a la ampliación de la imagen por un factor de  $m$  usando la interpolación próxima más cercana. La figura 1 muestra un ejemplo de ese proceso, con  $m = 4$ . La figura 1 (a) muestra una cuadrícula de ejemplo de  $2 \times 2$  píxeles de baja resolución. La figura 1 (b) muestra la cuadrícula correspondiente de  $8 \times 8$  píxeles de alta resolución, después de la interpolación próxima más cercano. El valor de cada píxel de la cuadrícula LR se asigna a un bloque de  $4 \times 4$  píxeles de la cuadrícula HR.

35 El desplazamiento de traslación se ha calculado en la escala LR y, por lo tanto, también se debe multiplicar por  $m$  para escalarlo a la cuadrícula HR. A continuación, se redondea al número entero más cercano, produciendo un nuevo vector de desplazamiento. (En el caso de un desplazamiento no entero, es posible llevar a cabo la interpolación de imágenes al píxel entero más cercano; sin embargo, ello tiene la desventaja de que puede introducir información que no estaba presente en la escena original).

40 La imagen LR ampliada se traslada posteriormente por el vector de desplazamiento de traslación relevante. Como un ejemplo, la figura 2 muestra dos cuadrículas HR de  $8 \times 8$  combinadas después de la traslación de la segunda cuadrícula en relación con la primera por dos columnas de píxeles horizontales y una fila vertical. Como se puede ver en la figura 2, la región de superposición entre las imágenes es más pequeña que cada imagen LR en sí misma y, por lo tanto, no se obtiene información adicional con el propósito de una superresolución en toda la imagen. Por lo tanto, se realiza una elección en cuanto a cómo se tratan las regiones límite en el algoritmo SR, con opciones que comprenden:

- 55
- Tomar solo la región de la imagen HR en la que todas las imágenes LR de la ROI se superponen; con un número sustancial de imágenes LR y un amplio desplazamiento de traslación, esto podría dar como resultado una imagen con una cobertura considerablemente menor que las imágenes originales;
  - Tomar todos los píxeles, incluidas todas las regiones límite, esto podría dar como resultado una imagen mucho más grande que la imagen original; o
  - Tomar solo los píxeles de la imagen original (es decir, la primera imagen)
- 60

65 En todo el trabajo siguiente, se elige la tercera opción de tomar solo píxeles que están presentes en la imagen original. La imagen HR en este caso tiene píxeles alrededor del límite que no tienen píxeles contribuyentes de todas las imágenes LR y también se descarta la información de los píxeles LR que quedan fuera de la imagen original. Sin

embargo, este método permite que la imagen superresuelta tenga un tamaño conocido, independientemente de los desplazamientos de traslación, y permite una fácil comparación con las imágenes LR.

5 La imagen de superresolución se forma simplemente promediando los píxeles HR en cada ubicación, teniendo en cuenta cuántas de las imágenes LR contribuyen a cada píxel. La imagen de superresolución resultante es una representación borrosa de la escena en el mundo real, resultante del desenfoque del sistema óptico y la turbulencia atmosférica, pero también del desenfoque inherente en el proceso de superresolución de apilamiento simple, como se muestra en la figura 3. En la figura 3, un solo píxel en la ubicación (3,3) en una cuadrícula de 7x7 (alta resolución) se reduce la frecuencia de muestreo por un factor de escala de dos, de modo que se producen cuatro imágenes de baja resolución, cada una mostrada una cuadrícula de muestra de 3x3. El proceso de reducción de la frecuencia de muestreo toma un parche de 2x2 de la imagen HR y promedia los valores para formar el valor de píxel LR. Las cuatro muestras correspondientes a desplazamientos de (0,0) (es decir, sin desplazamiento), (1,0) (es decir, desplazamiento por una fila, (0,1) (es decir, desplazamiento por una columna) y (1,1), es decir, desplazamiento por una fila y una columna. Esos son todos los posibles desplazamientos de subpíxeles, ya que cualquier desplazamiento adicional da como resultado un desplazamiento de número entero en la cuadrícula de baja resolución y, por lo tanto, no hay información adicional para ayudar a la superresolución. En las cuatro muestras 3x3, el píxel ocurre en la ubicación (2,2), (2,1), (1,2) y (1,1), respectivamente. Al aplicar la técnica de apilamiento simple de superresolución, se ubica con precisión el píxel en su ubicación (3, 3) en la cuadrícula de 7x7, pero la imagen del píxel se extiende a los nueve píxeles inmediatamente adyacentes a esa ubicación. Si se considera que el píxel original tiene un valor de intensidad de 16, el proceso de muestreo y desenfoque de superresolución se puede entender de la siguiente manera.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 16 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} s_1(0,0): \\ s_3(0,1): \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} s_2(1,0): \\ s_4(1,1): \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

25 El desenfoque se reduce o se elimina mediante la aplicación de algoritmos de eliminación del desenfoque tradicionales, tal como un filtro Wiener, el algoritmo de Lucy-Richardson o deconvolución ciega, utilizando la función de dispersión de puntos de la superresolución.

30 A continuación, se describirá con más detalle un ejemplo de realización de la invención (Figura 4). Un generador 410 de imágenes, por ejemplo, una señal de imagen alimentada desde una cámara digital montada en un vehículo aéreo proporciona un flujo de imágenes. Las imágenes respectivas de ese flujo se extraen mediante un capturador 420 de fotogramas y se proporcionan a un módulo de extracción de la Región de interés 430. En un primer pase del método, el módulo de extracción de la ROI 430 interactúa con un usuario, a través de una interfaz gráfica de usuario 440, para definir una región de interés. En pases posteriores, La región de interés se identifica utilizando la información de cambio de número entero proporcionada por una calculadora de cambio 450. El extractor 430 de ROI suministra la ROI a un módulo de 480 superresolución, que, usando la ROI, a información de desplazamiento fraccional de la calculadora 450 de desplazamiento y una imagen superresuelta actual (calculada en el pase anterior del método), calcula una imagen superresuelta actualizada. La imagen superresuelta actualizada se presenta en una pantalla 490 a un usuario. La imagen también se pasa a un módulo 500 de reducción de la resolución, que a su vez pasa una imagen con resolución reducida al correlacionador cruzado 460. La salida del correlacionador cruzado 460 se pasa a la calculadora 450 de desplazamiento.

45 El método de ejemplo se describirá a continuación con más detalle, con referencia a la figura 5. El capturador 420 de imágenes carga un fotograma de imagen (etapa 510) desde el generador 410 de imágenes. El fotograma de la imagen tiene la forma de una matriz de píxeles. Si este es el primer pase del método (etapa 520 de decisión), un usuario usa la GUI 440 para identificar la ubicación de un objeto objetivo en el fotograma de la imagen. El usuario define en el fotograma de la imagen una porción que es una región de interés que incluye el objeto objetivo (etapa 530). Por lo general, la porción del fotograma serán los píxeles que componen el objeto objetivo, junto con un pequeño borde que rodea al objeto objetivo, proporcionando un margen en el fotograma, para permitir el movimiento futuro del objeto en fotogramas posteriores. Los píxeles correspondientes a la porción de fotograma identificada (es decir, la región de interés) son extraídos por el extractor 430 de ROI del fotograma. Ya que este es el primer pase del método, se aumenta la frecuencia de muestreo de la región de interés a la resolución de superresolución y se proporciona al módulo 480 de superresolución (etapa 650).

El módulo 480 de superresolución proporciona una imagen superresuelta deteriorada (etapa 540), ya que este es el primer pase del método, la imagen superresuelta deteriorada es simplemente la ROI con mayor frecuencia de muestreo.

5 El módulo 480 de superresolución construye una imagen superresuelta (etapa 550); nuevamente, ya que este es el primer pase del método, la imagen superresuelta está directamente relacionada con simplemente la ROI con mayor frecuencia de muestreo.

10 La imagen superresuelta se envía a la pantalla 490 (etapa 560). Se calcula una imagen 575 "de resolución reducida" (etapa 570), por un módulo 500 de reducción de la resolución, desde la imagen "superresuelta", para su uso en pases posteriores; de nuevo, en el primer pase, la imagen 575 con "resolución reducida" es, efectivamente, idéntica a la primera porción del fotograma.

15 Después de completar el primer pase, el método comienza nuevamente para un segundo pase.

El capturador 420 de fotogramas carga un segundo fotograma de imagen (etapa 510). El extractor 430 de ROI extrae una porción del fotograma de trabajo (etapa 580) del segundo fotograma de imagen. La porción del fotograma de trabajo se extrae de la ubicación aproximada del objeto objetivo, en este ejemplo, el mismo conjunto de ubicaciones de píxeles que se extrajeron para formar la primera porción del fotograma.

20 A continuación, la porción del fotograma de trabajo se correlaciona de forma cruzada (etapa 590), en el correlacionador cruzado 460, con la imagen de resolución reducida producida por el módulo 500 de reducción de la resolución en el primer pase del método. El cambio de posición del objetivo en la porción del fotograma de trabajo en comparación con la posición del objetivo en la imagen de primer pase con resolución reducida se calcula de este modo mediante la calculadora 450 de desplazamiento (etapa 600). Ese cambio de posición se divide en un desplazamiento de un número entero de píxeles (es decir, un desplazamiento de número entero 610) y un desplazamiento de una fracción de píxel (es decir, un desplazamiento fraccional 620). El desplazamiento de número entero 610 se usa para definir una ubicación para una segunda porción de fotograma, es decir, la ubicación de la primera porción del fotograma es trasladada por el desplazamiento de número entero 610 para dar la ubicación para una segunda porción del fotograma. Los píxeles que forman la segunda porción del fotograma, correspondiente a una región de interés reubicada, se extraen (etapa 630).

35 El módulo 480 de construcción de superresolución construye una imagen superresuelta (etapa 550) a partir de la imagen superresuelta calculada en el primer pase del método (que es simplemente la porción de fotograma almacenada en el primer pase) y la segunda porción del fotograma. En el cálculo de la imagen superresuelta, la primera porción del fotograma se deteriora (etapa 540) reduciendo su ponderación; por lo tanto, la segunda porción del fotograma recibe una ponderación más alta que la primera porción del fotograma (es decir,  $S_{x,y}^2 = (1 - \alpha)F_{x,y}^2 + \alpha S_{x,y}^1 = 1(1 - \alpha)F_{x,y}^2 + \alpha F_{x,y}^1$ ). La imagen superresuelta se envía (etapa 560) a la pantalla 490 para un usuario. Una imagen 575 de resolución reducida se calcula (etapa 570) a partir de la imagen superresuelta por el módulo 500 de reducción de la resolución y se usa en el correlacionador cruzado 460 (etapa 590) para determinar la ubicación de las porciones de fotograma posteriores.

45 En pases posteriores, se repite el método realizado en el segundo pase, usando cada vez la ubicación de la porción del fotograma del pase anterior como la ubicación de la porción del fotograma de trabajo para el pase actual, y usando la imagen 575 de resolución reducida del pase anterior en el correlacionador cruzado 460 para determinar el cambio de posición del objetivo. Por lo tanto, se carga un fotograma de la imagen adicional (etapa 510). Se extrae una porción del fotograma de trabajo del fotograma de imagen adicional (etapa 580). La porción del fotograma de trabajo se extrae de la ubicación aproximada del objeto objetivo, en este ejemplo, el mismo conjunto de ubicaciones de píxeles que se extrajeron para formar la porción de fotograma anterior.

50 En la etapa 590, la porción del fotograma de trabajo se correlaciona de forma cruzada con la imagen 575 con resolución reducida del pase anterior del método. De este modo, se obtiene el cambio en la posición del objetivo en la porción del fotograma de trabajo en comparación con la posición del objetivo en la imagen 575 de resolución reducida. Ese cambio de posición se divide (etapa 600) en un desplazamiento de un número entero de píxeles (es decir, un desplazamiento de número entero 610) y un desplazamiento de una fracción de píxel (es decir, un desplazamiento fraccional 620). El desplazamiento de número entero 610 se usa para definir una ubicación para una porción de fotograma adicional, es decir, la ubicación de la porción de fotograma precedente se traslada por el desplazamiento de número entero 610 para dar la ubicación de la porción de fotograma adicional. Los píxeles que forman la porción de fotograma adicional, correspondiente a una región de interés reubicada, se extraen (etapa 630).

60 La imagen superresuelta calculada en el pase anterior del método se deteriora (etapa 540), reduciendo la ponderación asociada con las porciones de fotograma generadas en cada uno de los pases anteriores; por lo tanto, la ponderación dada a cada porción del fotograma se reduce progresivamente en cada pase del método, para que las porciones del fotograma más antiguas tengan una ponderación más baja que las porciones del fotograma más nuevas. Se construye una imagen superresuelta (etapa 550) a partir de la imagen superresuelta deteriorada y de la porción del fotograma

65

actual,  $S_{x,y}^n = \alpha^{n-1} F_{x,y}^1 + (1 - \alpha) \cdot (\alpha^{n-2} F_{x,y}^2 + \dots + \alpha F_{x,y}^{n-1} + F_{x,y}^n) = \alpha^{n-1} F_{x,y}^1 + (1 - \alpha) \sum_{p=2}^n \alpha^{n-p} F_{x,y}^p$  como se ha tratado anteriormente) y se envía a un usuario (etapa 560). Se calcula una imagen 575 con resolución reducida (etapa 570) a partir de la imagen superresuelta y se usa en la correlación cruzada (etapa 590) para determinar la ubicación de porciones del fotograma posteriores.

5 Mientras que la presente invención se ha descrito e ilustrado con referencia a realizaciones particulares, los expertos en la materia apreciarán que la invención se presta a muchas variaciones diferentes que no se ilustran específicamente en el presente documento. Únicamente a modo de ejemplo, a continuación, se describirán ciertas posibles variaciones.

10 En la realización de ejemplo descrita anteriormente, el usuario identifica el objetivo en el fotograma de la imagen y el usuario define la región de interés para la cual se extrae la porción de la imagen. En realizaciones alternativas, una o ambas operaciones están automatizadas. Por ejemplo, el objetivo puede identificarse en el fotograma de la imagen mediante un algoritmo de reconocimiento de objetivo. De manera similar, la región de interés y, por lo tanto, la porción del fotograma extraída, que comprende el objeto objetivo puede ser definido por un ordenador alrededor del objeto objetivo una vez que se ha identificado la ubicación del objeto objetivo en sí, ya sea automáticamente o por un usuario.

15 En otro ejemplo de realización, un usuario define la región de interés después de que un algoritmo de reconocimiento de objetivo haya identificado el objetivo.

20 En la realización de ejemplo descrita anteriormente, los cálculos para producir una imagen "superresuelta" "superresuelta deteriorada" y "de resolución reducida" se llevan a cabo incluso en el primer pase del método, lo que da como resultado que las primeras imágenes "superresueltas" y "superresueltas deterioradas" y "con resolución reducida" sean idénticas a la primera porción del fotograma. En realizaciones alternativas, los cálculos de superresolución, superresolución deteriorada y/o resolución reducida son sorteados para el primer pase.

25 En la realización de ejemplo descrita anteriormente, el objetivo es un movimiento relativamente lento y la región de interés definida durante el primer pase es lo suficientemente grande como para que la porción del fotograma de trabajo sea el mismo conjunto de ubicaciones de píxeles que se extrajeron de la primera porción del fotograma. En realizaciones alternativas, en el que el objetivo se mueve más rápido o en el que se define una región de interés más pequeña, la ubicación probable del objetivo se estima a partir del movimiento presunto del objetivo, o se mide utilizando algún otro algoritmo de rastreo, para que la porción del fotograma de trabajo sea una región de interés alrededor de la ubicación probable estimada del objetivo. El cambio en la posición del objetivo en la porción del fotograma de trabajo en comparación con la posición del objetivo en la imagen con resolución reducida se obtiene de esta manera teniendo en cuenta, además del cambio de posición del objetivo dentro de la porción del fotograma, el desplazamiento en la ubicación de la porción del fotograma en sí.

30

35 En la realización de ejemplo descrita anteriormente, las imágenes superresueltas se envían a un usuario. En realizaciones alternativas, las imágenes superresueltas se pasan a otra unidad automatizada, donde se utilizan en otros procesos automatizados.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de procesamiento de imágenes que comprende las etapas de:
  - 5 (i) obtener una imagen que incluye un objeto objetivo, estando la imagen formada por una matriz de píxeles;
  - (ii) extraer de la imagen una porción de fotograma actual, siendo la porción del fotograma al menos una porción de los píxeles que forman la imagen, correspondiente a una región de interés en la imagen, comprendiendo la región de interés el objeto objetivo;
  - 10 (iii) proporcionar una porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente, correspondiente a la región de interés en la imagen; y
  - (iv) calcular una porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual y la porción de fotograma superresuelto actual, estando ambas ponderadas con ponderaciones respectivas en el cálculo, y
  - 15 (v) repetir una pluralidad de veces las etapas (i) a (iv) del método para imágenes sucesivas, en donde las ponderaciones respectivas utilizadas en el cálculo de cada una de las porciones de fotograma superresuelto actualizadas sucesivamente son tales que la contribución efectiva hecha a la porción de fotograma superresuelto por una porción de fotograma dada se deteriora progresivamente con cada porción de fotograma superresuelto calculada sucesivamente.
- 20 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la porción de fotograma superresuelto actual se deteriora dándole una ponderación más alta en el cálculo de la porción de fotograma superresuelto actualizada que una ponderación dada a la porción de fotograma actual.
- 25 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la porción de fotograma extraída en cada iteración de la etapa (ii) después de la primera iteración corresponde a una región de interés identificada en la imagen utilizada en la primera iteración de la etapa (ii).
- 30 4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que se supone que la región de interés está en la imagen actual en la posición de la región de interés en una imagen anterior.
5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el objetivo se rastrea entre imágenes.
6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que un desplazamiento de traslación entre la porción de fotograma actual y la porción de fotograma superresuelto actual se calcula mediante una correlación en el dominio espacial, correlación de fase en el dominio de frecuencia o mediante un método iterativo en el que la correlación en el dominio espacial o la correlación de fase en el dominio de frecuencia se utiliza como una conjetura inicial para construir una porción de fotograma superresuelto estimada y el registro se repite para producir la porción de fotograma superresuelto óptima.
- 35 7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la posición del objetivo en la imagen se determina utilizando una correlación cruzada con una versión de resolución reducida de una porción de fotograma de superresolución calculada en una iteración previa del método.
- 45 8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que se extrae una porción del fotograma de trabajo de la imagen y se utiliza para identificar la ubicación de la región de interés.
9. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que se realiza una etapa de eliminación del desenfoque de la imagen.
- 50 10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la eliminación del desenfoque de la imagen sumada se lleva a cabo utilizando ecuaciones formuladas dentro del dominio de la imagen.
11. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el algoritmo de superresolución se lleva a cabo solo en los píxeles de la porción de fotograma actual que se superponen con los píxeles de la porción de fotograma superresuelto actual previamente calculada, o en todos los píxeles tanto de la porción de fotograma actual como de la porción de fotograma superresuelto calculada previamente o usando solo los píxeles correspondientes a los píxeles de la porción del fotograma del primer pase del método.
- 55 12. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que las porciones de fotograma superresuelto se proporcionan en tiempo real.
- 60 13. Un aparato de procesamiento de imágenes que comprende:
  - 65 (i) un generador de imágenes para obtener una imagen que incluye un objeto objetivo, estando la imagen formada por una matriz de píxeles;
  - (ii) un procesador de imagen configurado para

- 5 a. extraer una porción del fotograma actual de la imagen, siendo la porción del fotograma al menos una porción de los píxeles que forman la imagen, correspondiente a una región de interés en la imagen, comprendiendo la región de interés el objeto objetivo;
- b. obtener una porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente, correspondiente a la región de interés en la imagen;
- c. aplicar una ponderación a la porción del fotograma actual y la porción del fotograma superresuelto actual, uno con respecto al otro de manera predeterminada;
- 10 d. calcular una porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual ponderada y la porción de fotograma superresuelto actual; y
- e. repetir una pluralidad de veces las etapas a a d para imágenes sucesivas, siendo las ponderaciones respectivas utilizadas en el cálculo de cada una de las porciones de fotograma superresuelto sucesivas actualizadas tales que la contribución efectiva hecha a la porción de fotograma superresuelto por una porción de fotograma dada se deteriora progresivamente con cada porción de fotograma superresuelto calculada sucesivamente.
- 15

14. Un buscador de misiles que incluye un aparato de procesamiento de imágenes de acuerdo con la reivindicación 13.

- 20 15. Un producto de programa informático configurado para hacer que, cuando se ejecuta el programa informático, los aparatos de procesamiento de datos:

- (i) reciban una imagen que incluye un objeto objetivo, estando la imagen formada por una matriz de píxeles;
- 25 (ii) extraigan de la imagen una porción de fotograma actual, siendo la porción del fotograma al menos una porción de los píxeles que forman la imagen, correspondiente a una región de interés en la imagen, comprendiendo la región de interés el objeto objetivo;
- (iii) proporcionen una porción de fotograma superresuelto actual calculada previamente, correspondiente a la región de interés en la imagen;
- 30 (iv) apliquen una ponderación a la porción de fotograma actual y a la porción de fotograma superresuelto actual, uno con respecto al otro de manera predeterminada;
- (v) calculen una porción de fotograma superresuelto actualizada a partir de la porción de fotograma actual ponderada y la porción de fotograma superresuelto actual; y
- 35 (vi) repitan una pluralidad de veces las etapas (i) a (v) para imágenes sucesivas, siendo las ponderaciones respectivas utilizadas en el cálculo de cada una de las porciones de fotograma superresuelto sucesivas actualizadas tales que la contribución efectiva hecha a la porción de fotograma superresuelto por una porción de fotograma dada se deteriora progresivamente con cada porción de fotograma superresuelto calculada sucesivamente.

Fig. 1

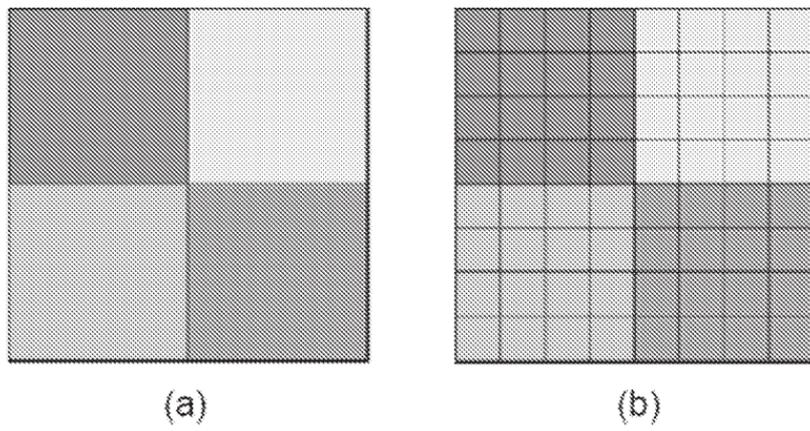


Fig. 2

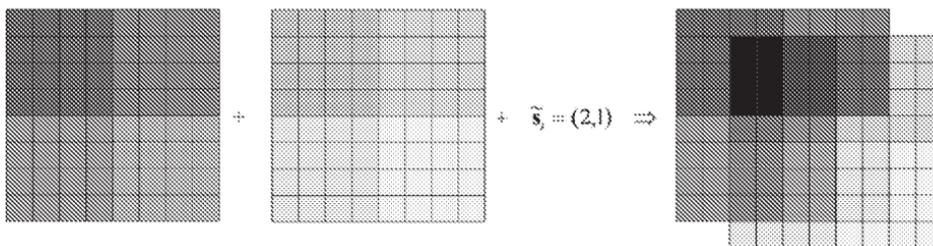


Fig. 3

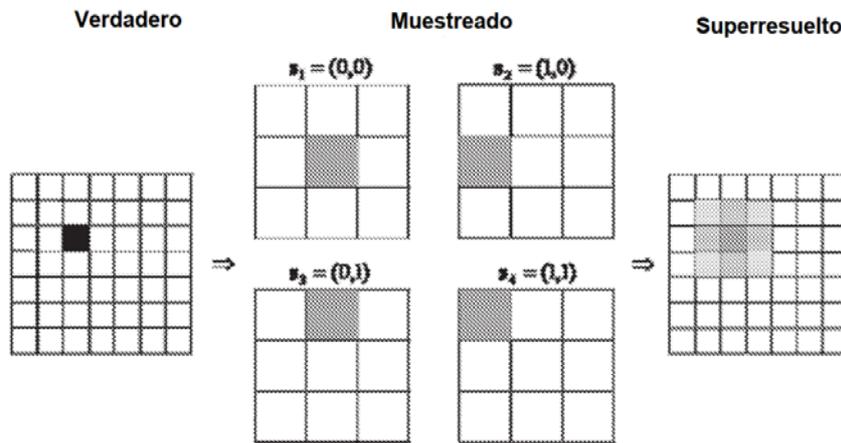


Fig. 4

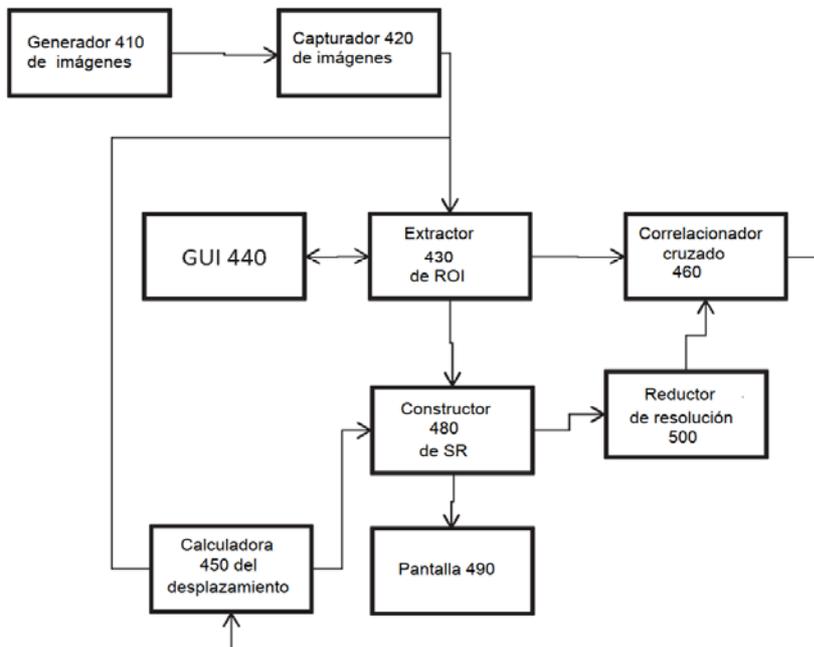


Fig. 5

