

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局



(10) 国际公布号  
WO 2017/100971 A1

(43) 国际公布日  
2017年6月22日 (22.06.2017)

- (51) 国际专利分类号:  
G06T 5/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/097237
- (22) 国际申请日: 2015年12月14日 (14.12.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 北京大学深圳研究生院 (PEKING UNIVERSITY SHENZHEN GRADUATE SCHOOL) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城北大园区, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 王荣刚 (WANG, Ronggang); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城北大园区, Guangdong 518055 (CN)。张欣欣 (ZHANG, Xinxin); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城北大园区, Guangdong 518055 (CN)。王振宇 (WANG, Zhenyu); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城北大园区, Guangdong 518055 (CN)。
- (74) 代理人: 深圳鼎合诚知识产权代理有限公司 (DHC IP ATTORNEYS); 中国广东省深圳福田区金田路与福华路交汇处现代国际大厦 2201, Guangdong 518048 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) Title: DEBLURRING METHOD AND DEVICE FOR OUT-OF-FOCUS BLURRED IMAGE

(54) 发明名称: 一种失焦模糊图像的去模糊方法和装置

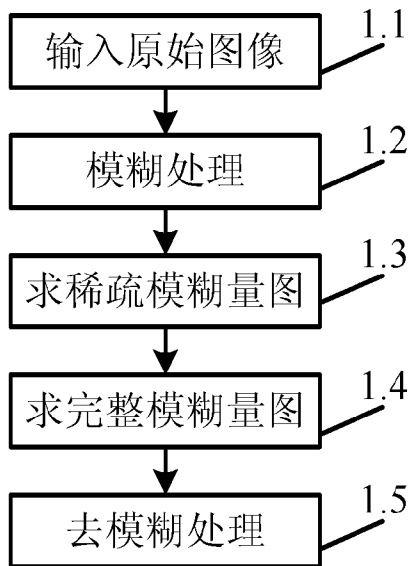


图 1

- 1.1 Input an original image
- 1.2 Carry out blurring processing
- 1.3 Obtain a sparse blur amount diagram
- 1.4 Obtain a complete blur amount diagram
- 1.5 Carry out deblurring processing

(57) Abstract: A deblurring method and device for an out-of-focus blurred image: first using a preset blur kernel to carry out blurring processing on an inputted original image to obtain a re-blurred image; estimating the blur amounts of pixels in an edge area of the original image according to the change of image edge information in the blurring processing procedure to obtain a sparse blur amount diagram; estimating the blur amounts of pixels in a non-edge area of the original image according to the sparse blur amount diagram to obtain a complete blur amount diagram; and carrying out deblurring processing according to the complete blur amount diagram to obtain a deblurred image. In the method and the device provided by the present application, since a blur amount diagram is obtained on the basis of the change of edge information after image blurring, the obtained blur amount diagram can be more accurate, so that the quality of a deblurred image is improved.

(57) 摘要: 一种失焦模糊图像的去模糊方法和装置, 先采用预设模糊核对输入的原始图像进行模糊处理, 得到再模糊图像; 根据模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计, 得到稀疏模糊量图; 根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计, 得到完整模糊量图; 根据所述完整模糊量图进行去模糊处理, 得到去模糊图像。本申请提供的方法和装置中, 由于使用了图像模糊后的边缘信息的变化来得到模糊量图, 可以使得到的模糊量图更加准确, 从而提高去模糊图像的质量。

WO 2017/100971 A1



(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

**本国际公布:**

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

## 一种失焦模糊图像的去模糊方法和装置

### 技术领域

本申请涉及图像处理领域，具体涉及一种失焦模糊图像的去模糊方法和装置。

### 背景技术

用普通的相机拍照的时候，如果焦点聚在一个物体上，那么与这个物体不在同一个深度的区域会出现不同程度的失焦现象。根据薄透镜成像系统模型，失焦的程度与场景的深度成正比，离焦平面越远的物体模糊程度越大。摄影师会故意拍摄失焦模糊的照片以达到艺术效果，但是模糊图像丢失了大量的细节，有时我们需要避免失焦模糊，所以对单张图像的去模糊工作是非常重要的。

失焦图像的退化（图像退化是指图像质量的下降）模型可以表示为如下卷积过程：

$$I = L \otimes k + N \quad (1)$$

其中， $I$ 和 $L$ 分别表示失焦模糊图像和清晰图像， $\otimes$ 是卷积符号， $N$ 是随机噪声， $k$ 是模糊核。失焦模糊中，模糊核常被看作一个高斯模型：

$$k(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

$(x, y)$ 是图像中的像素点的坐标， $\sigma$ 是标准差， $\sigma$ 可以衡量图像的模糊程度，也被称为模糊量。

模糊核的估计是去模糊过程中的一个关键步骤。对于空间一致的图像，由于图像上各个位置的模糊核是相同的，这种情况下对图像进行去模糊处理较为简单。对于空间可变的模糊图像，图像中的每个像素对应的模糊核都是不同的，这种情况比较复杂，去模糊的难度比较大。目前，对单张空间可变模糊图像的模糊核估计主要有两种方法：一种是根据模糊核的相似性将图像划分为相等大小的矩形区域，在每个区域中用空间稀疏约束项对模糊核进行约束，得到图像的局部模糊核  $k$ ；另一种方法是把模糊核看作圆盘模型或者高斯模型，估计出每个像素对应的圆盘半径或者高斯模型的标准差，进而得到模糊核。由于图像的局部区域的模糊程度是和深度有关的，所以把图像分为等大的矩形区域容易造成同一个矩形区域内不同像素之间的实际模糊程度相差过大，所以第一种方法会出现局部模糊核估计不准确的现象。第二种方法对每个像素都得到了

一个对应的模糊核，但是在图像复原过程中对每个像素分别用不同的模糊核进行反卷积计算开销太大，所以如何用这些模糊核进行图像复原是一个关键问题。

目前，有人提出将模糊量  $\sigma$  划分成不同的量级，取每个量级的最小值作为此范围内模糊量的值。这种方法可以避免振铃效应（Ringing artifacts）（振铃效应是影响复原图像质量的众多因素之一，是由于在图像复原中选取了不适当的图像模型造成的，振铃效应产生的直接原因是图像退化过程中信息量的丢失，尤其是高频信息的丢失，其严重降低了复原图像的质量，并且使得难于对复原图像进行后续处理。），但是由于最终估计的模糊量比实际的模糊量小，恢复出的图像还是比较模糊。

综上所述，单张空间可变失焦图像去模糊作为图像处理中的重要环节，已受到广泛关注，并有大量的去模糊算法涌现。然而，模糊核估计以及最终的图像复原部分尚存在很多问题，需要进一步的提高性能。

### 发明内容

本申请提供一种失焦模糊图像的去模糊方法和装置，解决了现有技术中对失焦图像的去模糊处理效果差的问题。

根据本申请的第一方面，本申请提供了一种失焦模糊图像的去模糊方法，包括：

输入原始图像；

采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像；

根据所述模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图；

根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图；

根据所述完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像。

根据本申请的第二方面，本申请还提供了一种失焦模糊图像的去模糊装置，包括：

输入模块，用于输入原始图像；

稀疏模糊量图估计模块，用于采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像；并根据所述模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图；

完整模糊量图映射模块，用于根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图；

去模糊处理模块，用于根据所述完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像。

本申请提供的失焦模糊图像的去模糊方法和装置，先采用预设模糊核对输入的原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像；根据模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图；根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图；根据所述完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像。本申请提供的方法和装置中，由于使用了图像模糊后的边缘信息的变化来得到模糊量图，可以使得到的模糊量图更加准确，从而提高去模糊图像的质量。

### 附图说明

图 1 为本申请一种实施例中失焦模糊图像的去模糊方法的流程示意图；

图 2 为本申请另一种实施例中失焦模糊图像的去模糊方法的流程示意图；

图 3 为本申请另一种实施例中失焦模糊图像的去模糊方法的流程示意图；

图 4 为本申请一种实施例中失焦模糊图像的去模糊方法中后处理的流程示意图；

图 5 为本申请一种实施例中失焦模糊图像的去模糊装置的模块示意图；

图 6 为本申请一种实施例失焦模糊图像的去模糊装置中去模糊处理模块的单元示意图。

### 具体实施方式

下面通过具体实施方式结合附图对本申请作进一步详细说明。

#### 实施例一

请参考图 1，本实施例提供了一种失焦模糊图像的去模糊方法，包括下面步骤：

步骤 1.1：输入原始图像。该原始图像为基于深度的单张空间可变的失焦模糊图像。

步骤 1.2：采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像。

本实施例中，把输入的原始图像用标准差为  $\sigma_0$ （模糊量）的高斯核（预设模糊核）进行再模糊。

需要说明的是，本申请实施例中，将失焦模糊的模糊核看作一个高斯模型来对本申请进行说明，在其他实施例中，如果将失焦模糊的模糊核看作其他模型（例如圆盘模型），本申请提供的去模糊方法也同样适用。

步骤 1.3：根据步骤 1.2 模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始

图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图。

原始图像的边缘可以表示为：

$$f(x, y) = Au(x, y) + B \quad (3)$$

其中， $u(x, y)$ 是阶跃函数，A和B分别表示振幅和偏移量，在图像边缘处的坐标为 $(x, y) = (0, 0)$ 。

本实施例中，定义边缘锐利度为：

$$S = \frac{|\nabla I| - |\nabla I_R|}{|\nabla I| + \varepsilon} \quad (4)$$

$|\nabla I|$ 和 $|\nabla I_R|$ 是原始图像和再模糊图像的梯度值（图像梯度是指把图像看成二维离散函数，对二维离散函数进行求导）， $\varepsilon$ 是一个非常小的正数，用于防止分母为零。

$$\text{并且, } |\nabla I| = \sqrt{\nabla_x I^2 + \nabla_y I^2}, \quad |\nabla I_R| = \sqrt{\nabla_x I_R^2 + \nabla_y I_R^2}.$$

S越大，边缘的锐利程度越大。通过S可以推导出 $\sigma$ 。

再模糊图像的梯度 $\nabla I_R$ 可以通过下面卷积过程表示：

$$\begin{aligned} |\nabla I_R(x, y)| &= |\nabla((Au(x, y) + B) \otimes k(x, y, \sigma) \otimes k(x, y, \sigma_0))| \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma^2 + \sigma_0^2)}} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2(\sigma^2 + \sigma_0^2)}} \end{aligned} \quad (5)$$

由于 $\varepsilon$ 远小于 $|\nabla I|$ ，所以在推导 $\sigma$ 的过程中可以忽略，所以公式(4)可以写为：

$$S = 1 - \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2}} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} - \frac{x^2 + y^2}{2(\sigma^2 + \sigma_0^2)}} \quad (6)$$

本实施例中，用Canny算子进行边缘检测，在边缘处 $(x, y) = (0, 0)$ ，所以

$$S = 1 - \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_0^2}} \quad (7)$$

由公式(7)可以得到模糊量 $\sigma$ 为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1-S)^2 \sigma_0^2}{2S - S^2}} \quad (8)$$

每个像素对应的  $\sigma$  组成了一个稀疏模糊量图。

由于在小的边缘处的噪声的影响， $\sigma$  估计的会不准确。优选的，先对稀疏模糊量图进行校正。本实施例中，采用引导滤波 (Guided filter) 方法来对稀疏模糊量图进行校正。将边缘图像作为引导图像，校正图像  $r$  为：

$$r_i = \sum_j W_{ij}(E) \sigma_j \quad (9)$$

其中， $i$  和  $j$  是像素索引， $E$  是边缘图像， $W$  是核函数，并且：

$$W_{ij}(E) = \frac{1}{|w|^2} \sum_{z:(l,j) \in w_z} \left( 1 + \frac{(E_l - \mu_z)(E_j - \mu_z)}{\delta_z^2 + \zeta} \right) \quad (10)$$

$w_z$  是以像素  $z$  为中心的窗口， $\mu_z$ 、 $\delta_z^2$  和  $|w|$  分别是窗口  $w_z$  中像素灰度的平均值、方差和  $E$  中窗口  $w_z$  内的像素总数， $\zeta$  是一个正则化参数。本实施例中将窗口  $w_z$  和  $\zeta$  分别设置为  $5 \times 5$  和  $10^{-9}$ 。

并且，如果  $r_i < 10^{-8}$ ，则令  $r_i = 0$ 。

步骤 1.4: 根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

稀疏模糊量图只包括了边缘区域像素的模糊量，因此，需要得到包括边缘区域像素和非边缘区域像素的模糊量。

本实施例中，采用 K 最邻近插值法 (KNN matting interpolation) 根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

具体的，可以通过下面方程得到完整模糊量图：

$$E(\hat{m}) = \hat{m}^T (L + \lambda D) \hat{m} - 2\lambda r^T \hat{m} + \lambda |r|, \quad (11)$$

其中， $\hat{m}$  和  $r$  分别表示完整模糊量图和稀疏模糊量图的向量。 $\lambda$  是正则化参数， $D = \text{diag}(r)$ ， $L$  是稀疏关联矩阵  $A$  的拉普拉斯矩阵， $T$  为求转置矩阵。对于像素  $i$ ，在特征空间中找到它周围的  $k$  个最相邻像素  $j$ ，将  $A(i, j)$  设置为  $g(i, j)$ ，其他值设为 0。核函数  $g(i, j)$  定义为：

$$g(i, j) = 1 - \frac{\|X(i) - X(j)\|}{C} \quad (12)$$

其中， $X(i)$  是用  $i$  周围像素计算得到的特征向量； $C$  是  $\|X(i) - X(j)\|$  的最小上界，使得  $g(i, j) \in [0, 1]$ 。 $\hat{m}$  可以通过以下方程得到最优解：

$$(L + \lambda D)\hat{m} = \lambda f \quad (13)$$

具体的,可以将 $\lambda$ 设为0.8, $\hat{m}$ 被 $f$ 约束。通过预条件共轭梯度(PCG)方法求解公式(13)中的 $\hat{m}$ 。

步骤 1.5: 根据获得的完整模糊量图进行去模糊处理,得到去模糊图像。步骤 1.5 可以采用现有技术中任意一种去模糊处理方法,例如采用本申请背景技术中提及的两种去模糊处理方法。

本实施例中,考虑到失焦降低了边缘的锐利程度和对比度,高频处的模糊量会产生比较大的变化,因此,采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理,图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计。这样可以得到更加准确的模糊量图,使得去模糊处理后得到的图像更加清晰。

## 实施例二

通过以上分析可知,图像的模糊程度和深度有关,深度越大模糊程度越大,对于大多数深度可变的场景,同一个物体的像素的深度可被看作是局部相似的,即模糊程度也具有局部一致性。但是,采用现有技术或者实施一提供的方法得到的完整模糊量图中,每个像素的模糊量是不同的,为了保证模糊核的局部一致性并且减小异常值的影响,本实施例中采用基于超像素的方法将图像分割成多个超像素,根据每个超像素中所有的像素的模糊量来得到超像素的模糊量。

请参考图 2,本实施例提供了另外一种失焦模糊图像的去模糊方法,其与实施例一的区别在于,步骤 1.5 包括下面子步骤:

子步骤 2.1: 基于超像素的方法将完整模糊量图分割成多个超像素。

子步骤 2.2: 对当前超像素中所有像素的模糊量进行处理,得到当前超像素的模糊量。

本实施例中,以每个超像素中所有的像素的模糊量 $\sigma$ 的平均值作为这个超像素的模糊量,即:

$$\sigma_n = \frac{\sum_{j \in M_n} m_j}{t}, \quad n \in [1, l] \quad (14)$$

其中, $n$ 是超像素的标签, $\sigma_n$ 和 $m_j$ 分别是第 $n$ 个超像素的模糊量和像素 $j$ 的模糊量。 $M_n$ 表示第 $n$ 个超像素区域, $t$ 是 $M_n$ 中像素的数量。超像素的总数 $l$ 为预先设置的一个参数。

当然,在其他实施例中,超像素的模糊量也可以根据实际情况采用其他方式确定。



子步骤 2.3: 根据每个超像素的模糊量得到每个超像素的模糊核。  
具体的, 第  $n$  个超像素的模糊核为:

$$k_n(x, y, \sigma_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_n^2}}, \quad n \in [1, l] \quad (15)$$

子步骤 2.4: 根据每个超像素的模糊核对每个超像素进行去模糊处理。

具体的, 根据每个超像素的模糊核对每个超像素进行去模糊处理, 包括: 根据每个超像素的模糊核, 分别对每个超像素进行反卷积计算。本实施例中, 优选的, 根据每个超像素的模糊核, 采用基于三维块匹配 (BM3D) 的非盲反卷积方法对每个超像素分别进行去模糊处理。基于 BM3D 的反卷积方法复原出的图像有助于去除部分噪声, 并保留微小细节。

子步骤 2.5: 将每个去模糊处理后的超像素进行合成, 得到去模糊图像。

具体的, 最终得到的去模糊图像为:

$$L = \sum_{n=1}^l \tilde{L}_n(x, y) \quad (16)$$

$$\tilde{L}_n(x, y) = \begin{cases} \tilde{L}_n(x, y) & (x, y) \in M_n \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (17)$$

其中,

$\tilde{L}_n$  为用模糊核  $k_n$  复原出的图像 (第  $n$  个超像素)。

本实施例中, 采用超像素分割的方法, 先分别对每个超像素进行去模糊处理, 然后将所有的超像素合成一幅清晰图像。可以将空间可变去模糊转变成局部空间不变去模糊问题。基于超像素的图像分割方法能够更好地适用场景深度变化以及图像的边缘区域, 可以将前景和背景区分的更加准确, 更符合深度一致性。与将图像分为等大的矩形区域分别进行模糊核估计, 以及按将模糊量进行尺度划分等方法相比, 本实施例提供的方法基于局部深度一致性的模糊量图精化能够得到更加准确的模糊核。

### 实施例三

多数情况下, 通过上述实施例二提供的方法得到的去模糊图像, 会存在振铃和噪声, 尤其是在图像的边缘区域。出现这种情况主要有两个原因, 第一是对参数  $l$  设置的太小, 导致分割后的超像素区域过大, 包含

了深度变化较大的区域。第二是较小的边缘处的模糊量  $\sigma$  小于当前超像素的模糊量  $\sigma_n$ 。

请参考图 3，为了解决这个问题，本实施例提供了另一种失焦模糊图像的去模糊方法，其与实施例一和二区别在于，在步骤 1.5 之后，还包括步骤 1.6：对去模糊图像进行后处理，以得到最终的清晰图像。

请参考图 4，本实施例中，后处理步骤包括如下子步骤：

子步骤 3.1：根据得到的每个超像素的模糊核对去模糊图像进行模糊处理，得到第二模糊图像。

子步骤 3.2：计算第二模糊图像与原始图像对应的区域的差值  $e(x, y)$ ，具体的：

$$e(x, y) = |\tilde{L}_n(x, y) \otimes k_n(x, y, \sigma_n) - I(x, y)|, (x, y) \in M_n \quad (17)$$

子步骤 3.3：当得到的差值大于预设阈值  $\tau$  时，判断对应的像素为异常像素。

子步骤 3.4：将异常像素所在超像素中各个像素的模糊量的最小值作为该超像素的模糊量，并根据该模糊量对第二模糊图像进行去模糊处理，得到复原图像。

子步骤 3.5：将复原图像中异常像素的复原结果替换去模糊图像中对应的像素，以得到最终的清晰图像。

本实施例中，如果  $e(x, y)$  大于预设阈值  $\tau$ ，则认为像素  $(x, y)$  是异常像素。当  $\sigma_n$  大于像素  $j$  的模糊量  $m_j$  时，可能会出现振铃或噪声。因此，用  $m$  中每个超像素中的模糊量的最小值作为该超像素的模糊量进行图像复原（即对第二模糊图像进行去模糊处理），得到复原图像  $\bar{L}_n$ ，用  $\bar{L}_n$  中的像素代替  $\tilde{L}_n$  中的异常像素（振铃和噪声像素），最终得到的清晰图像为：

$$L_f(x, y) = \begin{cases} \tilde{L}(x, y) & e(x, y) \leq \tau \\ \bar{L}(x, y) & e(x, y) > \tau \end{cases} \quad (18)$$

具体的，本实施例中，所采用的各个参数可以如下表所示。在其他实施例中，这些参数可以采用相应的经验值，或者根据实际需求进行选择。

$\sigma_0$	$\epsilon$	$\tau$	$\lambda$	$\zeta$
3	$10^{-6}$	$8 \times 10^{-4}$	0.8	$10^{-9}$

本实施例提供的失焦模糊图像的去模糊方法，得到的清晰图像的质量

量更高，并且可以有效地除振铃和噪声。

#### 实施例四

请参考图 5，基于上述实施例三提供的失焦模糊图像的去模糊方法，本实施例相应提供了一种失焦模糊图像的去模糊装置，包括输入模块 101、稀疏模糊量图估计模块 102、稀疏模糊量图校正模块 103、完整模糊量图映射模块 104、去模糊处理模块 105 和后处理模块 106。

输入模块 101 用于输入原始图像。

稀疏模糊量图估计模块 102 用于采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像；并根据该模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图。

完整模糊量图映射模块 104 用于根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

去模糊处理模块 105 用于根据该完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像。

优选的，失焦模糊图像的去模糊装置还包括稀疏模糊量图校正模块 103，用于对稀疏模糊量图进行校正。完整模糊量图映射模块 104 用于根据校正后的稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

具体的，稀疏模糊量图校正模块 103 用于采用引导滤波方法对稀疏模糊量图进行校正。完整模糊量图映射模块 104 用于采用插值法根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

本实施例中，稀疏模糊量图估计模块 102 用于根据模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图时，边缘区域像素的模糊量  $\sigma$  通过下面公式得出，

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1-S)^2 \sigma_0^2}{2S-S^2}}$$

其中， $S$  为边缘锐利度， $\sigma_0$  为所述预设模糊核的模糊量；并且，

$$S = \frac{|\nabla I| - |\nabla I_R|}{|\nabla I| + \varepsilon}$$

其中， $|\nabla I|$  和  $|\nabla I_R|$  分别为原始图像和再模糊图像的梯度值， $\varepsilon$  为一预设的正值。

进一步，请参考图 6，去模糊处理模块包括图像分割单元 201 和图像复原单元 202。

图像分割单元 201 用于基于超像素的方法将完整模糊量图分割成多个超像素。

图像复原单元 202 用于对当前超像素中所有像素的模糊量进行处理，得到当前超像素的模糊量；并根据每个超像素的模糊量得到每个超像素的模糊核；之后，根据每个超像素的模糊核对每个超像素进行去模糊处理，将每个去模糊处理后的超像素进行合成，得到去模糊图像。

具体的，图像复原单元 202 用于将当前超像素中所有像素的模糊量的平均值作为当前超像素的模糊量。

图像复原单元 202 用于根据每个超像素的模糊核，分别对每个超像素进行反卷积计算。本实施例中，图像复原单元 202 用于根据每个超像素的模糊核，采用基于三维块匹配的非盲反卷积方法对每个超像素进行去模糊处理。

优选的，失焦模糊图像的去模糊装置还包括后处理模块 106，用于对去模糊图像进行后处理，以得到最终的清晰图像。

本实施例中，后处理模块 106 用于根据得到的每个超像素的模糊核对去模糊图像进行模糊处理，得到第二模糊图像；计算第二模糊图像与原始图像对应的区域的差值；当该差值大于预设阈值时，判断对应的像素为异常像素；将异常像素所在超像素中各个像素的模糊量的最小值作为该超像素的模糊量，并根据该模糊量对第二模糊图像进行去模糊处理，得到复原图像；将该复原图像中异常像素的复原结果替换去模糊图像中对应的像素，以得到最终的清晰图像。

本实施例提供的失焦模糊图像的去模糊装置与实施例三提供的失焦模糊图像的去模糊方法对应，其具体实现方式可参考实施例三，本实施例不再对其进行赘述。

本实施例提供的失焦模糊图像的去模糊装置，可以得到更加准确的模糊量图，其基于局部深度一致性的模糊量图精化能够得到更加准确的模糊核，并且可以有效地除振铃和噪声，以得到更加清晰的图像。

本领域技术人员可以理解，上述实施方式中各种方法的全部或部分步骤可以通过程序来控制相关硬件完成，该程序可以存储于一计算机可读存储介质中，存储介质可以包括：只读存储器、随机存取存储器、磁盘或光盘等。

以上内容是结合具体的实施方式对本申请所作的进一步详细说明，不能认定本申请的具体实施只局限于这些说明。对于本申请所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演或替换。

## 权 利 要 求

- 1、一种失焦模糊图像的去模糊方法，其特征在于，包括：  
 输入原始图像；  
 采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像；  
 根据所述模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图；  
 根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图；  
 根据所述完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像。
- 2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，先对所述稀疏模糊量图进行校正，根据校正后的稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。
- 3、如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，采用引导滤波方法对所述稀疏模糊量图进行校正。
- 4、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，采用 k 最邻近插值法根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。
- 5、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，根据所述模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计的步骤中，边缘区域像素的模糊量  $\sigma$  通过下面公式得出，

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1-S)^2 \sigma_0^2}{2S-S^2}}$$

其中，S 为边缘锐利度， $\sigma_0$  为所述预设模糊核的模糊量；并且，

$$S = \frac{|\nabla I| - |\nabla I_R|}{|\nabla I| + \varepsilon}$$

其中， $|\nabla I|$  和  $|\nabla I_R|$  分别为原始图像和再模糊图像的梯度值， $\varepsilon$  为一预设的正值。

- 6、如权利要求 1-5 任意一项所述的方法，其特征在于，根据所述完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像，包括：  
 基于超像素的方法将完整模糊量图分割成多个超像素，对当前超像素中所有像素的模糊量进行处理，得到当前超像素的模糊量；  
 根据每个超像素的模糊量得到每个超像素的模糊核；  
 根据每个超像素的模糊核对每个超像素进行去模糊处理，并将每个

去模糊处理后的超像素进行合成，得到去模糊图像。

7、如权利要求6所述的方法，其特征在于，对当前超像素中所有像素的模糊量进行处理，得到当前超像素的模糊量，包括：将当前超像素中所有像素的模糊量的平均值作为当前超像素的模糊量。

8、如权利要求6所述的方法，其特征在于，根据每个超像素的模糊核对每个超像素进行去模糊处理，包括：根据每个超像素的模糊核，分别对每个超像素进行反卷积计算。

9、如权利要求8所述的方法，其特征在于，根据每个超像素的模糊核，采用基于三维块匹配的非盲反卷积方法对每个超像素进行去模糊处理。

10、如权利要求6所述的方法，其特征在于，还包括对所述去模糊图像进行后处理，以得到最终的清晰图像。

11、如权利要求10所述的方法，其特征在于，对所述去模糊图像进行后处理，以得到最终的清晰图像，包括：

根据得到的每个超像素的模糊核对所述去模糊图像进行模糊处理，得到第二模糊图像；

计算第二模糊图像与原始图像对应的区域的差值；

当所述差值大于预设阈值时，判断对应的像素为异常像素；

将异常像素所在超像素中各个像素的模糊量的最小值作为该超像素的模糊量，并根据该模糊量对第二模糊图像进行去模糊处理，得到复原图像；

将所述复原图像中异常像素的复原结果替换所述去模糊图像中对应的像素，以得到最终的清晰图像。

12、一种失焦模糊图像的去模糊装置，其特征在于，包括：

输入模块，用于输入原始图像；

稀疏模糊量图估计模块，用于采用预设模糊核对原始图像进行模糊处理，得到再模糊图像；并根据所述模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图；

完整模糊量图映射模块，用于根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图；

去模糊处理模块，用于根据所述完整模糊量图进行去模糊处理，得到去模糊图像。

13、如权利要求12所述的装置，其特征在于，还包括稀疏模糊量图校正模块，用于对所述稀疏模糊量图进行校正；

完整模糊量图映射模块用于根据校正后的稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

14、如权利要求13所述的装置，其特征在于，稀疏模糊量图校正模

块用于采用引导滤波方法对所述稀疏模糊量图进行校正。

15、如权利要求 12 所述的装置，其特征在于，完整模糊量图映射模块用于采用 k 最邻近插值法根据稀疏模糊量图对原始图像的非边缘区域像素的模糊量进行估计，得到完整模糊量图。

16、如权利要求 12 所述的装置，其特征在于，稀疏模糊量图估计模块用于根据所述模糊处理过程中图像边缘信息的变化对原始图像的边缘区域像素的模糊量进行估计，得到稀疏模糊量图时，边缘区域像素的模糊量  $\sigma$  通过下面公式得出，

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1-S)^2 \sigma_0^2}{2S-S^2}}$$

其中，S 为边缘锐利度， $\sigma_0$  为所述预设模糊核的模糊量；并且，

$$S = \frac{|\nabla I| - |\nabla I_R|}{|\nabla I| + \varepsilon}$$

其中， $|\nabla I|$  和  $|\nabla I_R|$  分别为原始图像和再模糊图像的梯度值， $\varepsilon$  为一预设的正值。

17、如权利要求 12-16 任意一项所述的装置，其特征在于，去模糊处理模块包括：

图像分割单元，用于基于超像素的方法将完整模糊量图分割成多个超像素；

图像复原单元，用于对当前超像素中所有像素的模糊量进行处理，得到当前超像素的模糊量；并根据每个超像素的模糊量得到每个超像素的模糊核；之后，根据每个超像素的模糊核对每个超像素进行去模糊处理，将每个去模糊处理后的超像素进行合成，得到去模糊图像。

18、如权利要求 17 所述的装置，其特征在于，图像复原单元用于将当前超像素中所有像素的模糊量的平均值作为当前超像素的模糊量。

19、如权利要求 17 所述的装置，其特征在于，图像复原单元用于根据每个超像素的模糊核，分别对每个超像素进行反卷积计算。

20、如权利要求 19 所述的装置，其特征在于，图像复原单元用于根据每个超像素的模糊核，采用基于三维块匹配的非盲反卷积方法对每个超像素进行去模糊处理。

21、如权利要求 17 所述的装置，其特征在于，还包括后处理模块，用于对所述去模糊图像进行后处理，以得到最终的清晰图像。

22、如权利要求 18 所述的装置，其特征在于，后处理模块用于：

根据得到的每个超像素的模糊核对所述去模糊图像进行模糊处理，得到第二模糊图像；

计算第二模糊图像与原始图像对应的区域的差值；

当所述差值大于预设阈值时，判断对应的像素为异常像素；

将异常像素所在超像素中各个像素的模糊量的最小值作为该超像素的模糊量，并根据该模糊量对第二模糊图像进行去模糊处理，得到复原图像；

将所述复原图像中异常像素的复原结果替换所述去模糊图像中对应的像素，以得到最终的清晰图像。



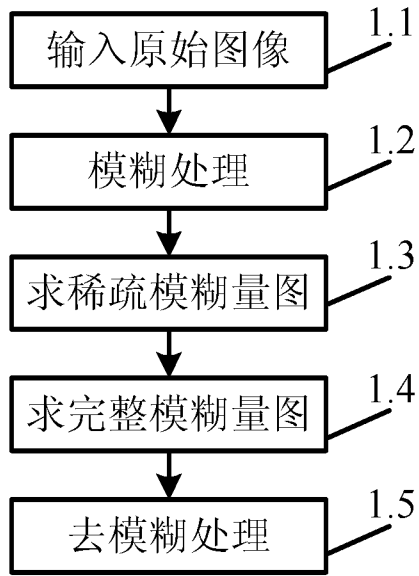


图 1

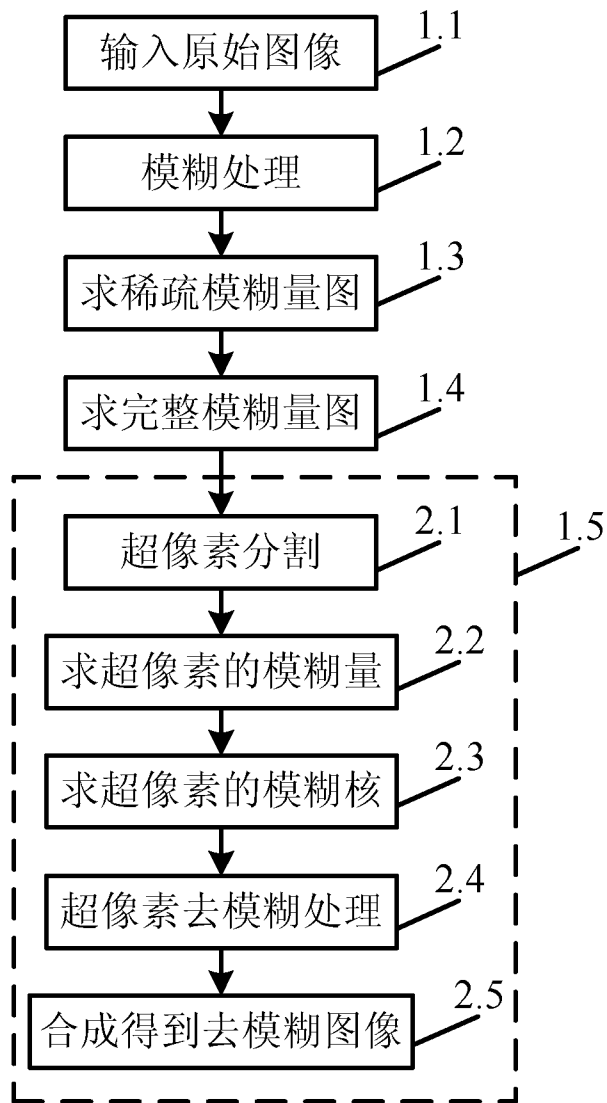


图 2

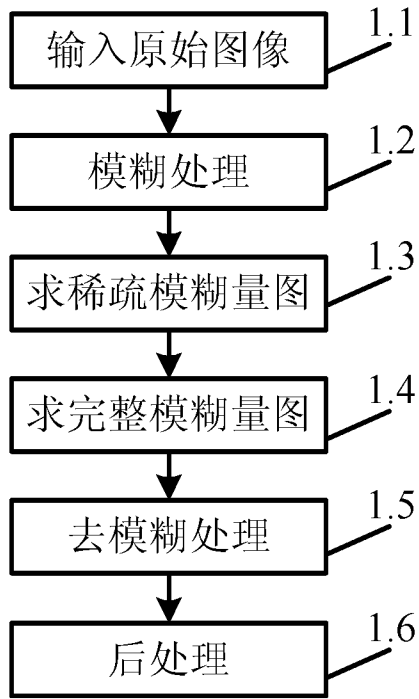


图 3

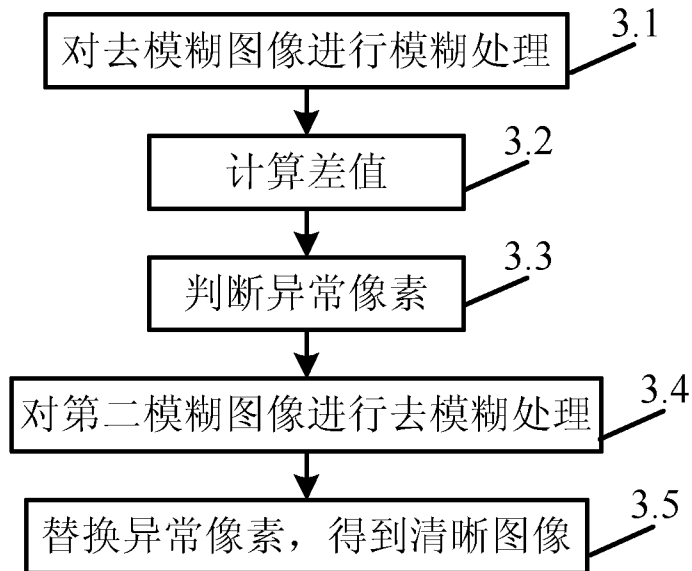


图 4

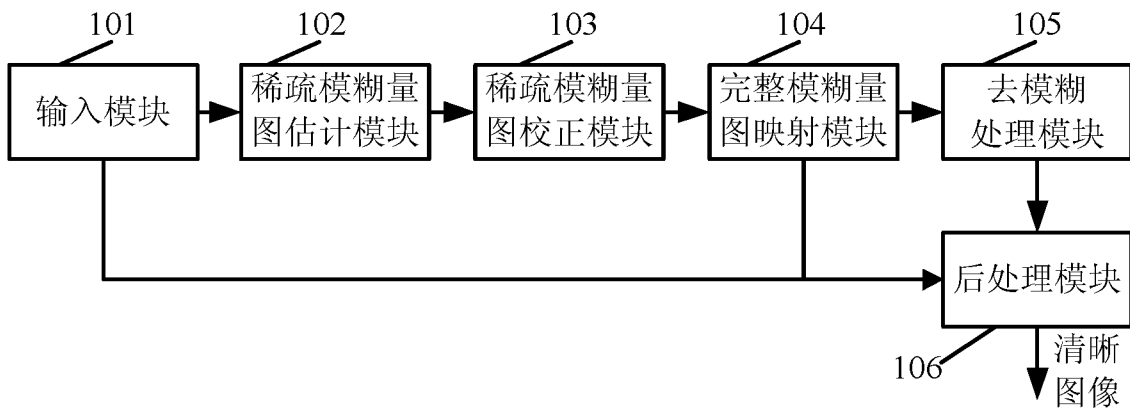


图 5

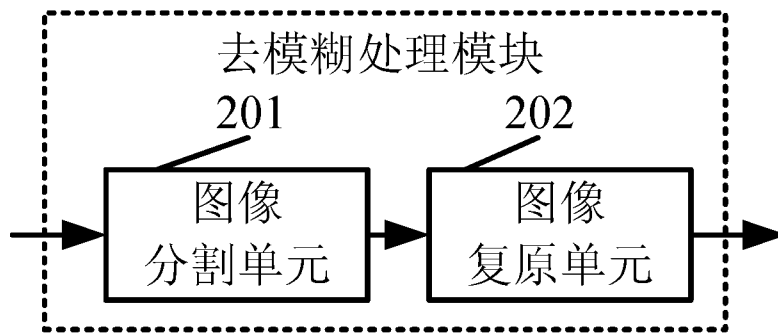


图 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2015/097237**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 5/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: WANG, Ronggang; ZHANG, Xinxin; WANG, Zhenyu; GAO, Wen, fuzzy kernel, integrity, PEKING UNIVERSITY, image?, picture?, defocus, de-focus, out of focus, blur+, fusion, kernel, map, deblur+, de-blur+, edge, non-edge, bound+, correct+, estimat+, predict+, sparsity, sparse, deconvolut+

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ZHUO, Shaojie et al., "Defocus Map Estimation from a Single Image", PATTERN RECOGNITION, vol. 44, no. 7, 21 March 2011 (21.03.2011), ISSN: 0031-3203, the main body, 3. defocus blur estimation, 4. defocus image interpolation, 5. experimental result, and abstract, and figure 6	1-22
X	CN 103049906 A (GRADUATE SCHOOL AT SHENZHEN, TSINGHUA UNIVERSITY), 17 April 2013 (17.04.2013), description, paragraphs [0016]-[0059]	1-22
A	CN 103514582 A (ZHENGZHOU UNIVERSITY), 15 January 2014 (15.01.2014), the whole document	1-22
A	CN 103201765 A (MAX PLANCK SOCIETY FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE), 10 July 2013 (10.07.2013), the whole document	1-22
A	US 8249377 B1 (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L. P.), 21 August 2012 (21.08.2012), the whole document	1-22

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
12 May 2016 (12.05.2016)

Date of mailing of the international search report  
**27 May 2016 (27.05.2016)**

Name and mailing address of the ISA/CN:  
State Intellectual Property Office of the P. R. China  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao  
Haidian District, Beijing 100088, China  
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer  
**WANG, Conglei**  
Telephone No.: (86-10) **62413236**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2015/097237**

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 9208543 B2 (ADOBE SYSTEMS INCORPORATED), 08 December 2015 (08.12.2015), the whole document	1-22

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
**PCT/CN2015/097237**

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103049906 A	17 April 2013	HK 1179734 A0	04 October 2013
CN 103514582 A	15 January 2014	None	
CN 103201765 A	10 July 2013	WO 2012041492 A1	05 April 2012
		EP 2574216 A1	03 April 2013
		US 2013242129 A1	19 September 2013
		HK 1187139 A0	28 March 2014
US 8249377 B1	21 August 2012	None	
US 9208543 B2	08 December 2015	US 2016063687 A1	03 March 2016

<p>A. 主题的分类</p> <p>G06T 5/00 (2006.01) i</p> <p>按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类</p>																				
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)</p> <p>G06T</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))</p> <p>CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 北京大学, 王荣刚, 张欣欣, 王振宇, 高文, 图像, 失焦, 散焦, 模糊, 去模糊, 模糊核, 边缘, 边界, 非边缘, 非边界, 稀疏, 完整, 校正, 估计, 反卷积, peking university, image?, picture?, defocus, de-focus, out of focus, blur+, fusion, kernel, map, deblur+, de-blur+, edge, non-edge, bound+, correct+, estimat+, predict+, sparsity, sparse, deconvolut+</p>																				
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>ZHUO, Shaojie等. "Defocus map estimation from a single image" PATTERN RECOGNITION, 第44卷, 第/期, 2011年 3月 21日 (2011 - 03 - 21), ISSN: 0031-3203, 正文3失焦模糊预测, 4失焦图插入, 5实验结果、摘要、图6</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 103049906 A (清华大学深圳研究生院) 2013年 4月 17日 (2013 - 04 - 17) 说明书第[0016]-[0059]段</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103514582 A (郑州大学) 2014年 1月 15日 (2014 - 01 - 15) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103201765 A (马普科技促进协会) 2013年 7月 10日 (2013 - 07 - 10) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 8249377 B1 (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P.) 2012年 8月 21日 (2012 - 08 - 21) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	ZHUO, Shaojie等. "Defocus map estimation from a single image" PATTERN RECOGNITION, 第44卷, 第/期, 2011年 3月 21日 (2011 - 03 - 21), ISSN: 0031-3203, 正文3失焦模糊预测, 4失焦图插入, 5实验结果、摘要、图6	1-22	X	CN 103049906 A (清华大学深圳研究生院) 2013年 4月 17日 (2013 - 04 - 17) 说明书第[0016]-[0059]段	1-22	A	CN 103514582 A (郑州大学) 2014年 1月 15日 (2014 - 01 - 15) 全文	1-22	A	CN 103201765 A (马普科技促进协会) 2013年 7月 10日 (2013 - 07 - 10) 全文	1-22	A	US 8249377 B1 (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P.) 2012年 8月 21日 (2012 - 08 - 21) 全文	1-22
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
X	ZHUO, Shaojie等. "Defocus map estimation from a single image" PATTERN RECOGNITION, 第44卷, 第/期, 2011年 3月 21日 (2011 - 03 - 21), ISSN: 0031-3203, 正文3失焦模糊预测, 4失焦图插入, 5实验结果、摘要、图6	1-22																		
X	CN 103049906 A (清华大学深圳研究生院) 2013年 4月 17日 (2013 - 04 - 17) 说明书第[0016]-[0059]段	1-22																		
A	CN 103514582 A (郑州大学) 2014年 1月 15日 (2014 - 01 - 15) 全文	1-22																		
A	CN 103201765 A (马普科技促进协会) 2013年 7月 10日 (2013 - 07 - 10) 全文	1-22																		
A	US 8249377 B1 (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P.) 2012年 8月 21日 (2012 - 08 - 21) 全文	1-22																		
<p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																				
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&amp;” 同族专利的文件</p>																				
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2016年 5月 12日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2016年 5月 27日</p>																		
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10) 62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>王从雷</p> <p>电话号码 (86-10) 62413236</p>																		

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	US 9208543 B2 (ADOBE SYSTEMS INCORPORATED) 2015年 12月 8日 (2015 - 12 - 08) 全文	1-22



国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/097237

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103049906	A	2013年 4月 17日	HK	1179734	A0	2013年 10月 4日
CN	103514582	A	2014年 1月 15日	无			
CN	103201765	A	2013年 7月 10日	WO	2012041492	A1	2012年 4月 5日
				EP	2574216	A1	2013年 4月 3日
				US	2013242129	A1	2013年 9月 19日
				HK	1187139	A0	2014年 3月 28日
US	8249377	B1	2012年 8月 21日	无			
US	9208543	B2	2015年 12月 8日	US	2016063687	A1	2016年 3月 3日