



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103955905 B

(45)授权公告日 2017.04.05

(21)申请号 201410200960.2

(22)申请日 2014.05.13

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103955905 A

(43)申请公布日 2014.07.30

(73)专利权人 北京邮电大学  
地址 100876 北京市海淀区西土城路10号

(72)发明人 黄治同 张红 纪越峰

(51)Int.Cl.  
G06T 5/00(2006.01)

(56)对比文件  
CN 103034983 A,2013.04.10,  
CN 101783012 A,2010.07.21,  
CN 102243758 A,2011.11.16,  
US 2011/0222764 A1,2011.09.15,

Nie Ning et al..Research of Defogging base on Wavelet Transforms.《International Conference on Computer, Communications and Information Technology》.2014,第399-403页.

Codruta Orniana Ancuti et al..Effective Single Image Dehazing by Fusion.《Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Process》.2010,第3541-3544页.

Kaiming He et al..Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior.《IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE》.2010,第33卷(第12期),第2341-2353页.

审查员 谢晶

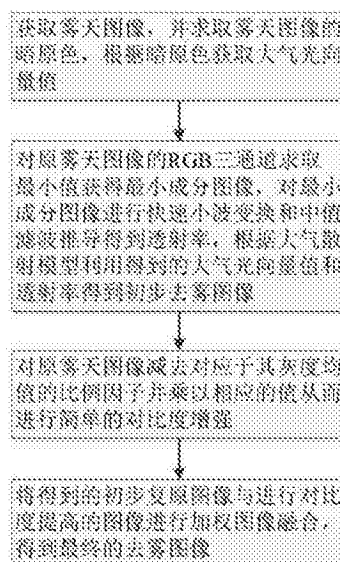
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法,其具体实施步骤如下:获取雾天图像,并求取雾天图像的暗原色,根据暗原色获取大气光向量值;对原雾天图像的RGB三通道求取最小值获得最小成分图像,对最小成分图像进行快速小波变换和中值滤波推导得到透射率,根据大气散射模型利用得到的大气光向量值和透射率得到初步去雾图像;对原雾天图像减去对应于其灰度均值的比例因子并乘以相应的值从而进行简单的对比度增强;将得到的初步复原图像与进行对比度提高的图像进行加权图像融合,得到最终的去雾图像。本发明提供的去雾方法,具有提高单幅图像的去雾速度和增强雾天图像的清晰度的优点。



1. 一种基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法,其特征在于该方法的具体步骤为:

步骤(1),获取雾天图像,并求取雾天图像的暗原色图并根据暗原色图获取大气光向量值;

步骤(2),对原雾天图像的RGB三通道求取最小值获得最小成分图像,对最小成分图像进行快速小波变换和中值滤波推导得到透射率,根据大气散射模型利用得到的大气光向量值和透射率得到初步去雾图像;

步骤(3),对原雾天图像减去对应于其灰度均值的比例因子并乘以相应的值,进行对比度增强,具体步骤为:

S3.1:基于最小成分图像进行雾的浓度判断,由于天空和近景部分受雾的影响较小,截取最小成分图像中间部分的四分之一计算其灰度平均值,记为avg,当avg大于某个临界值 $\delta$ 时可以判断为浓雾,即 $\theta = 0.9avg$ ,否则 $\theta = 0.7avg$ ,并且 $\gamma = 2(0.5+avg)$ ;

S3.2:对原雾天图像减去对应于其灰度均值的比例因子并乘以相应的值, $J_2(x) = \gamma(I(x) - \theta)$ ,其中 $J_2$ 为处理之后的对比度提高的图像, $I$ 为原雾天图像, $\theta$ 为对应于原图像中某区域的灰度均值的比例因子, $\gamma$ 是和最小成分图的平均灰度值相关的参数,用于根据有雾图像的亮度自适应的提高图像的亮度;

步骤(4),将得到的初步去雾图像与进行对比度提高的图像进行加权图像融合,得到最终的去雾图像。

2. 根据权利要求1所述的一种基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法,其特征在于所述步骤(2)中对原雾天图像的RGB三通道求取最小值获得最小成分图像,根据最小成分图像获取透射率,从而利用大气散射模型得到初步去雾图像,具体步骤如下:

S2.1:根据 $W(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left( \frac{I^c(x)}{A^c} \right)$ 获取的最小成分图像 $W$ ,其中 $A^c$ 为大气光向量值 $A$ 的 $c$ 通道分量, $I^c$ 代表原雾天图像 $I$ 的 $c$ 颜色通道, $c \in \{r, g, b\}$ ;

S2.2:对最小成分图像 $W$ 进行快速小波变换,变换之后的图像在小波域分为两部分即尺度系数和细节系数,其中尺度系数包含了图像的低频信息也就是图像的基本信息,而细节系数包含了图像中的高频信息也就是图像的细节信息,通过将细节系数进行置零,也就是消除了最小成分图像中的部分高频信息,这样可以将最小成分图像 $W$ 中的纹理、噪声等信息消除,最后利用剩余的尺度系数进行图像的重建;

S2.3:采用中值滤波器对重建之后的图像进行进一步的平滑,从而消除重建之后的图像含有的伪信息得到 $W'$ ;

S2.4:根据 $t(x) = 1 - \omega W'(x)$ 得到的透射率 $t$ ,其中 $\omega$ 为常数系数;

S2.5:根据 $J_1(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A$ 推导得到初步去雾图像 $J_1$ ,其中 $I$ 为原雾天图像, $t$ 为透射率, $A$ 为大气光向量值, $t_0$ 为常数系数。

3. 根据权利要求1所述的一种基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法,其特征在于所述步骤(4)将得到的初步去雾图像与进行对比度提高的图像进行加权图像融合,得到最终的去雾图像,具体步骤如下:

S3.1:根据透射率 $t$ 求得对应于初步去雾图像 $J_1$ 和对比度提高图像 $J_2$ 的权重图,由于初

步的去雾图像在清晰度上有更好的效果,所以要增加 $J_1$ 的比重,那么 $m_1(x) = \min((k+t(x)), 1)$ 和 $m_2(x) = 1 - m_1(x)$ ,其中 $k$ 为初步去雾图像在结果图像中增加的比重,当原雾天图像为浓雾时 $k=0.4$ ,否则 $k=0.1$ , $t$ 为透射率;

S3.2:进行加权图像融合,根据 $F(x) = m_1(x) J_1(x) + m_2(x) J_2(x)$ ,其中 $J_1$ 为获得的初步去雾图像, $J_2$ 为进行了简单对比度提高之后的图像, $m_1$ 和 $m_2$ 为对应于 $J_1$ 和 $J_2$ 的权重图并且 $m_1+m_2=1$ 。

## 基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理领域,尤其涉及图像复原领域,具体地说是一种基于快速小波变换和加权图像融合单幅图像去雾方法。

### 背景技术

[0002] 在恶劣天气条件下捕获的室外图像,由于空气中悬浮的微粒(如雾、霾)会对光线产生吸收、辐射和散射作用,其中吸收和辐射对成像的影响较小,大气粒子的散射会引起光线在大气传播中发生强度和颜色的改变,从而导致捕获的雾天图像呈现对比度低,颜色失真等特点,这对后续的图像处理(如目标识别、特征提取等)造成一定的困难。

[0003] 目前的户外计算机视觉系统(如视频监控、智能交通等)均需充分提取图像的特征,所以在恶劣天气条件下获取清晰的无雾图像在计算机视觉领域具有重要意义,同时由于视频监控等系统的实时需求,去雾算法的高效性也是至关重要的。近年来,图像去雾技术逐渐成为国内外学者的研究热点。

[0004] 近期几乎所有的去雾算法都是建立在大气散射模型之上的,而在该模型中雾所依赖的景深信息和天空光是未知的。由于从单幅图像中获取景深信息缺少约束条件,所以很多研究学者提出基于多幅图像或添加额外信息进行去雾。然而在实际的计算机视觉系统中,获取同一场景不同天气条件下的多幅图像或者采用其余设备获取额外信息都是难以实现的。所以基于单幅图像的去雾算法才更具有研究价值。

[0005] 近来,基于单幅图像的去雾技术已经取得了重大突破。Fattal (R.Fattal, "Single image dehazing," International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.1-9, 2008.) 利用独立成分分析法,通过假定透射率与局部表面投影是不相关推断出透射率,从而进行雾天图像的还原,但复原的图像往往出现失真。Tan (R.T.Tan, "Visibility in bad weather from a single image," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2008.) 通过观察发现雾天图像比无雾图像的对比度低,所以提出通过最大化局部区域对比度来提高雾天图像的清晰度,但由于该方法是基于颜色统计的,所以在浓雾时会失效。He (K.He, J.Sun, and X.Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1957-1963, 2009.) 等人通过对大量的室外无雾图像进行统计实验发现了暗通道先验理论,利用该理论与软抠图可以得到较好的去雾效果,但是由于采用复杂度较高的软抠图算法,所以该算法效率较低。Tarel (Jean-Philippe Tarel, Nicolas Hauti`ere, "Fast Visibility Restoration from a Single Color or Gray Level Image," International Conference on Computer Vision, 2009.) 采用中值滤波器估计大气幕,得到了一种快速的去雾方法,但是该方法需要设置较多的参数。总而言之,上述所有的算法在速度或者效果上均有待提高。

### 发明内容

[0006] 本发明提供一种基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法,该方法可以有效快速的实现对雾天图像的清晰化处理。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明的具体实施步骤为:

[0008] (1) 获取雾天图像,并求取雾天图像的暗原色图,根据暗原色图获取大气光向量值;

[0009] (2) 对原雾天图像的RGB三通道求取最小值获得最小成分图像,对最小成分图像进行快速小波变换和中值滤波推导得到透射率,根据大气散射模型利用得到的大气光向量值和透射率得到初步去雾图像;

[0010] (3) 对原雾天图像减去对应于其灰度均值的比例因子并乘以相应的值从而进行简单的对比度增强;

[0011] (4) 将得到的初步去雾图像与进行简单对比度提高的图像进行加权图像融合,得到最终的去雾图像。

[0012] 进一步,步骤(1)所述的暗原色图是指:根据  $I^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)))$  获取雾天图像的暗原色  $I^{\text{dark}}$ ,其中  $I$  为原雾天图像,  $I^c$  代表  $I$  的  $c$  颜色通道 ( $c \in \{r, g, b\}$ ),  $\Omega(x)$  是以  $x$  为中心的一块方形区域。

[0013] 进一步,步骤(1)所述的根据暗原色图获取大气光的向量值是指首先选取暗原色图  $I^{\text{dark}}$  中亮度最大的部分像素,在以上像素当中对应于输入图像  $I$  中强度最大的像素点的像素值被选定为大气光向量值  $A$ 。

[0014] 进一步,步骤(2)所述的根据原雾天图像获取最小成分图像是指:根据  $W(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\frac{I^c(x)}{A^c})$  获取的最小成分图像  $W$ ,其中  $A^c$  为大气光向量值  $A$  的  $c$  通道分量,  $I^c$  代表原雾天图像  $I$  的  $c$  颜色通道,  $c \in \{r, g, b\}$ 。

[0015] 进一步,步骤(2)所述的对最小成分图像进行快速小波变换并将细节系数置零,然后进行图像的重建是指:对最小成分图像  $W$  进行快速小波变换之后可以得到两部分即尺度系数和细节系数,其中尺度系数包含了图像的低频信息也就是图像的基本信息,而细节系数包含了图像中的高频信息也就是图像的细节信息。通过将细节系数进行置零,也就是消除了最小成分图像中的部分高频信息,这样可以将最小成分图像  $W$  中的纹理、噪声等信息消除,最后利用剩余的尺度系数进行图像的重建。

[0016] 进一步,步骤(2)所述的对重建之后的图像进行中值滤波是指:对最小成分图像  $W$  进行快速小波变换之后仍然包含部分的伪信息,所以采用中值滤波进行进一步的消除得到  $W'$ 。

[0017] 进一步,步骤(2)所述的推导得到透射率是指:根据  $t(x) = 1 - \omega W'(x)$  得到的透射率  $t$ ,其中  $\omega$  为常数系数。

[0018] 进一步,步骤(2)所述的根据大气散射模型获取初步去雾图像是指:根据  $J_1(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A$  推导得到初步去雾图像  $J_1$ ,其中  $I$  为原雾天图像,  $t$  为透射率,  $A$  为大气光向量值,  $t_0$  为常数系数,。

[0019] 进一步,步骤(3)所述的对原雾天图像减去对应于其灰度均值的比例因子并乘以

相应的值是指： $J_2(x) = \gamma (I(x) - \theta)$ ，其中 $I$ 为原雾天图像， $\theta$ 为对应于原图像中某区域的灰度均值的比例因子， $\gamma$ 用于提高图像的亮度， $J_2$ 为处理之后的图像，相较于原雾天图像， $J_2$ 的对比度得到提高。

[0020] 随着雾的浓度增加，雾天图像的对比度会降低，所以在进行对比度提高的时候首先进行雾的浓度判断，由于天空和近景部分受雾的影响较小，截取原图像中间部分的四分之一计算其灰度平均值，记为 $avg$ ，那么当 $avg$ 大于某个临界值 $\delta$ 时可以判断为浓雾，即 $\theta = 0.9avg$ ，否则 $\theta = 0.7avg$ ，并且 $\gamma = 2(0.5 + avg)$ 。

[0021] 进一步，步骤(3)所述的加权图像融合是指：根据 $F(x) = m_1(x) J_1(x) + m_2(x) J_2(x)$ ，其中 $J_1$ 为获得的初步去雾图像， $J_2$ 为进行了简单对比度提高之后的图像， $m_1$ 和 $m_2$ 为对应于 $J_1$ 和 $J_2$ 的权重图并且 $m_1 + m_2 = 1$ 。

[0022] 由于采用简单的相减法进行对比度的提高，而原雾天图像随着景深的增加雾的浓度增加，所以原雾天图像近景的部分相较于远景部分灰度值较低，以至于在 $J_2$ 中会出现信息的损失，所以在最后的融合图像中 $J_2$ 在近景部分所占的比例要低，由于透射率与景深成反比，所以可以将透射率的变换形式作为权重图。由于初步的去雾图像在清晰度上有更好的效果，所以要增加 $J_1$ 的比重，那么 $m_1(x) = \min((k + t(x)), 1)$ 和 $m_2(x) = 1 - m_1(x)$ ，其中 $k$ 为初步去雾图像在结果图像中增加的比重，当原雾天图像为浓雾时 $k = 0.4$ ，否则 $k = 0.1$ ， $t$ 为透射率。

[0023] 本发明具有下述优点：本发明采用基于快速小波变换和加权图像融合的单幅图像去雾方法，该方法可以提高雾天图像的对比度和清晰度，同时可以尽量校正在处理中引起的颜色失真，另外本方法的计算复杂度较低，能更好的适应目前计算机视觉系统的应用。

#### 附图说明：

[0024] 图1为本发明实施例的实施流程示意图；

[0025] 图2为输入的原雾天图像；

[0026] 图3为图2的暗原色；

[0027] 图4为图2的初步去雾图像；

[0028] 图5为图2的对比度提高图像；

[0029] 图6为对应于图4的权重图；

[0030] 图7为对应于图5的权重图；

[0031] 图8为图4与图5的加权融合图像，即最终的去雾图像。

#### 具体实施方式：

[0032] 为了更好的说明本发明，以下参照附图和实施例对本发明的具体实施做进一步的描述。

[0033] 如图1所示，本发明的具体实施步骤为：

[0034] (1) 获取雾天图像，并求取雾天图像的暗原色图，根据暗原色图获取大气光向量值；读入一幅雾天图像并转换到RGB颜色空间，记为 $I$ 。在本实施例中图2为原雾天图像，像素大小为 $840 \times 560$ 。

[0035] 根据  $I^{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)))$  获取雾天图像的暗原色  $I^{dark}$ , 其中  $I$  为原雾天图像,  $I^c$  代表  $I$  的  $c$  颜色通道 (即  $c \in \{r, g, b\}$ ),  $\Omega(x)$  是以  $x$  为中心的一块方形区域。在本实施例中  $\Omega(x)$  为  $15 \times 15$  大小的区域。图2的暗原色图如图3所示。

[0036] 根据暗原色图获取大气光的向量值  $A$ , 首先选取暗原色图  $I^{dark}$  中亮度最大的部分像素, 在以上像素当中对应于输入图像  $I$  中强度最大的像素点的值被选定为大气光向量值  $A$ 。在本实施例中在暗原色图中选取数量为  $0.1\%$  的亮度值最大的像素作为亮度最大的部分像素。

[0037] (2) 对原雾天图像的RGB三通道求取最小值获得最小成分图像, 对最小成分图像进行快速小波变换并将细节系数置零, 然后进行图像的重建, 对重建之后的图像进行中值滤波并推导得到透射率, 根据大气物理散射模型利用得到的大气光向量值和透射率就可以得到初步复原结果图像。

[0038] 首先获取最小成分图像  $W$ , 即:

$$[0039] \quad W(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left( \frac{I^c(x)}{A^c} \right)$$

[0040] 其中  $A^c$  为大气光向量值的  $c$  通道分量,  $I^c$  代表  $I$  的  $c$  颜色通道,  $c \in \{r, g, b\}$ 。

[0041] 在假定雾是均匀的条件下, 整幅图像的透射率是由景深决定的。在步骤(2)中根据最小成分图像推导透射率, 而最小成分图像由原雾天图像在RGB三通道求最小值推导得到的, 所以最小成分图像中包含了如图像的纹理、白色物体等伪信息与透射率图只与景深有关不符。所以对最小成分图像  $W$  进行快速小波变换和中值滤波以消除存在的伪信息。

[0042] 首先对最小成分图像  $W$  进行快速小波变换得到两部分即尺度系数和细节系数, 通过将细节系数进行置零, 消除了最小成分图像中的部分高频信息, 也就是将最小成分图像中的部分纹理信息和噪声等进行消除, 最后利用剩余的尺度系数进行图像的重建。在本实例中选择对称小波并且级别数为2。

[0043] 对最小成分图像进行快速小波变换之后仍然包含部分的伪信息, 所以采用中值滤波进行进一步的消除, 即:  $W'x = \text{median}_{sv} Wx$ , 其中  $sv$  是中值滤波器的半径大小, 在本实例中  $sv$  为7。

[0044] 根据  $t(x) = 1 - \omega W'(x)$  推导得到透射率  $t$ , 在推导透射率  $t$  的过程中引入了一个常数系数  $\omega$ , 其目的在于在去雾之后的图像中有针对性的保留一部分雾, 使其更真实, 在本实例中  $\omega = 0.95$ 。图1的透射率图如图4所示。

[0045] 大气散射模型是指:  $I(x) = J(x) t(x) A(1 t(x))$ , 其中  $I$  是原雾天图像,  $J$  是无雾图像,  $t$  是透射率,  $A$  是大气光向量值。目前在去雾领域大气散射模型被广泛的应用。根据大气散射模型, 结合原雾天图像  $I$ 、透射率  $t$  和大气光向量值  $A$  便可以获取无雾图像  $J_1$ , 即:

$$[0046] \quad J_1(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A$$

[0047] 其中  $I$  为原雾天图像,  $t$  为透过率,  $A$  为大气光向量,  $t_0$  为常数, 在本实施例中  $t_0 = 0.01$ , 图2的初步去雾图像如图5所示。

[0048] (3) 对原雾天图像减去对应于灰度均值的比例因子并乘以相应的值从而进行简单的对比度增强。

[0049] 雾的浓度对于雾天图像的平均灰度值有较大的影响,首先判断雾的浓度,由于天空部分与近景部分受雾的影响较小,所以截取原雾天图像中间部分的四分之一,计算其平均灰度值,记为avg。在本实例中当计算得到的avg大于0.65的时候,则确认当前雾天图像中的雾为浓雾,否则确认为轻雾。

[0050] 对原雾天图像减去对应于其灰度均值的比例因子并乘以相应的值即:

$$[0051] \quad J_2(x) = \gamma (I(x) - \theta)$$

[0052] 其中I为原雾天图像, $\theta$ 为对应于原图像中某区域的灰度均值的比例因子, $\gamma = 2(0.5 + \text{avg})$ 用于提高图像的亮度, $J_2$ 为处理之后的图像,相较于原雾天图像, $J_2$ 的对比度得到提高。在本实例中当确认雾的浓度为浓雾时 $\theta = 0.9\text{avg}$ ,否则 $\theta = 0.7\text{avg}$ 。

[0053] (4)将得到的初步去雾图像与进行简单对比度提高的图像进行加权图像融合,得到最终的去雾图像。

[0054] 首先需要获取初步去雾图像 $J_1$ 和对比度提高的图像 $J_2$ 的权重图分别为 $m_1$ 和 $m_2$ 。由于在步骤(3)中采用简单的相减法对原雾天图像进行对比度的提高,而原雾天图像近景的部分相较于远景部分灰度值较低,在对整幅图像做减法处理之后, $J_2$ 中的近景部分会出现信息的损失。所以在最后的融合图像中 $J_2$ 在近景部分所占的比例要低。

[0055] 透射率与景深成反比,将透射率的变换形式作为权重图。由于初步的去雾图像在清晰度上有更好的效果,所以要增加 $J_1$ 的比重,那么

$$[0056] \quad m_1(x) = \min((k + t(x)), 1)$$

$$[0057] \quad m_2(x) = 1 - m_1(x)$$

[0058] 其中k为 $J_1$ 在结果图像中增加的比重。在本实例中当原雾天图像为浓雾时 $k = 0.4$ ,否则 $k = 0.1$ 。

[0059] 根据 $F(x) = m_1(x) J_1(x) + m_2(x) J_2(x)$ ,将获取的初步去雾图像 $J_1$ 与对比度提高的图像 $J_2$ 进行加权图像融合。其中 $m_1$ 和 $m_2$ 为对应于 $J_1$ 和 $J_2$ 的权重图并且 $m_1 + m_2 = 1$ 。

[0060] 经过本发明的方法处理的原有雾图像与去雾之后的结果图像相比:

[0061] 原有雾图像呈现对比度低、颜色漂移等现象如图1所示;采用快速小波变换与中值滤波推导得到的透射率如图3所示;采用大气散射模型推导得到的初步去雾图像如图4所示,从图中可以看出经过初步去雾之后的图像对比度得到显著的提高,但是出现了颜色失真、远处信息丢失等现象;采用对原图像减去对应于其灰度均值的操作得到对比度提高的图像如图5所示,从图中可以看出该图像保留了原图像的颜色信息;采用加权图像融合的权重图分别如图6与7所示,其分别对应于初步去雾图像与对比度提高的图像;最终的去雾图像如图8所示;本实施例是在配置为3.60GHz Intel (R) Xeon (R) E5-1620CPU和8G内存的计算机中采MATLAB编程实现,处理时间为0.713s。从本实例中可以看出基于快速小波变换与加权图像融合的单幅图像去雾方法可以快速有效地提高图像的对比度,同时保证图像色彩的自然。



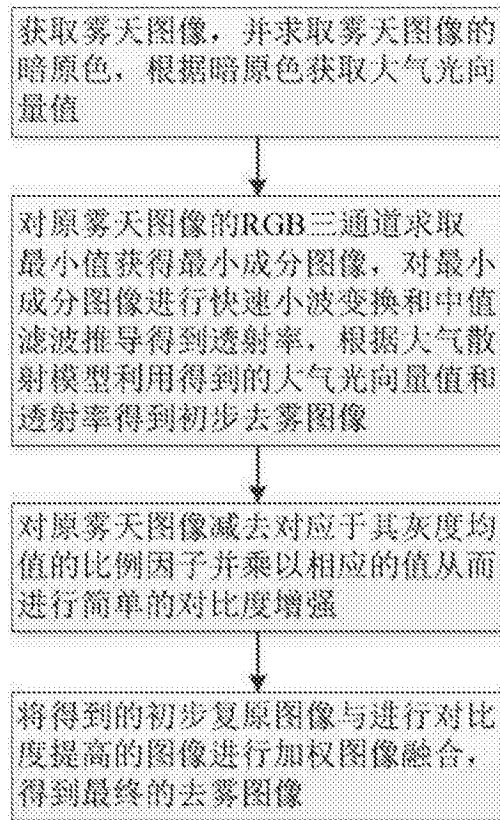


图1



图2



图3



图4



图5



图6



图7



图8