

一种基于 Sigmoid 函数的抑制 Halo 效应的有效算法

陈 丽 郭玉坤 李金屏

(济南大学信息科学与工程学院 济南 250022)

(山东省网络环境智能计算技术重点实验室 济南 250022)

摘 要 人们通常利用暗通道先验理论进行图像去雾,其副作用之一就是光晕现象,即 Halo 效应。在深入分析光晕效应特点的基础上,提出了一种基于 Sigmoid 函数的抑制 Halo 效应的有效算法。首先对带有光晕的图像进行大量观察,总结了光晕产生的位置规律及结构特性,构造了一个具有方向性的 Sigmoid 模板;然后对由暗通道先验理论得到的粗略透射率图进行边缘检测,获得景深突变处像素点的坐标和方向角;其次,再利用已构造的模板判断该处出现光晕的准确位置,并将非光晕区域的像素值赋给光晕区域,得到优化后的透射率图;最后引入一种容差机制还原出清晰无光晕的图像。本算法的特色在于所构造的模板仅仅处理出现光晕的区域,而不是处理整个图像区域,因此避免了传统方法中非光晕区域的颜色失真问题。实验结果表明,本算法简单易行,运行速度快,复原效果好。

关键词 图像去雾,暗通道先验,Halo 效应,Sigmoid 函数,容差机制

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.11.024

Effective Algorithm to Inhibit Halo Effect Based on Sigmoid Function

CHEN Li GUO Yu-kun LI Jin-ping

(School of Information Science and Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China)

(Shandong Provincial Key Laboratory of Network Based Intelligent Computing, Jinan 250022, China)

Abstract Dark channel prior theory is usually employed to reduce the effect of fog, however, a bad halo effect often exists. After extensive analysis of halo effect, we proposed an effective algorithm to inhibit the halo effect based on Sigmoid function. Firstly, after many observations of images with halo effect, we found the characteristic of halo effect's location and structure, so we constructed a Sigmoid model with directivity. Secondly, we performed the edge detection of transmission image obtained by dark channel prior, and then obtained the coordinates and edge directions of pixels located at the place of sudden change of depth of field. Thirdly, we used the constructed model to determine the precise locations of those pixels, filled halo region with pixel values of non-halo region, and then obtained optimized transmission image. Finally, we could obtain the clear image with weak halo effect by using the optimized transmission image and introducing a kind of tolerance mechanism. Our algorithm's characteristic consists in only processing the halo region using the constructed model rather than processing the whole image region, so our method avoids such problem as color distortion in no halo region. The experimental results demonstrate that our method is simple and easy, with faster computational speed and better restoration effect for fog image.

Keywords Haze removal, Dark channel prior, Halo effect, Sigmoid function, Tolerance mechanism

1 引言

在雾、霾等天气条件下,空气中大量的悬浮颗粒、气溶胶等粒子的散射和吸收作用,使得成像传感器采集的图像出现雾化现象。针对图像去雾问题,许多学者提出了多种解决方案。这些方案大致可以分为两类,即非物理模型和物理模型去雾算法^[1,2]。由于后者比前者的去雾效果更好,因此,很多学者都致力于研究后者中基于暗通道的单幅图像去雾方法。但是,在利用暗通道先验理论去雾时经常出现 Halo 效应,即

光晕现象,严重影响了图像复原的效果。

目前,针对抑制 Halo 效应^[3]问题,学者们提出了多种解决方案。He 算法利用软抠像方法优化透射率图来达到抑制 Halo 效应的目的^[4],但是软抠像方法增加了算法的时间复杂度。文献^[5]中利用形态学腐蚀方法对透射率图整体优化,该方法处理透射率跳变频率不是太高的有雾图像时效果较好,还降低了算法的时间复杂度,但是由于其对透射率图进行了整体腐蚀操作,导致复原的清晰图像出现了颜色失真。Tarel 等人假设大气耗散函数在可行域中逼近最大值,且局部变化

到稿日期:2014-07-19 返修日期:2014-11-14 本文受国家自然科学基金青年基金:融合尺度行为模式与环境上下文的家庭服务模式获取研究(61203341),山东省高等学校科研计划项目:基于视觉分析的机器人导航系统关键技术研究(J12LN19)资助。

陈 丽(1989—),女,硕士,主要研究方向为智能系统设计与应用、图像处理,E-mail:982936018@qq.com;郭玉坤(1989—),男,硕士,主要研究方向为模式识别和图像处理;李金屏(1968—),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为人工智能、模式识别和图像处理。

平缓,因此提出了一种快速图像去雾算法^[6];该算法利用中值滤波的变形估计大气耗散函数,也试图从整体上避免 Halo 效应的产生,但是中值滤波并非好的边缘保持滤波方法,同时不恰当的参数设置容易引起 Halo 效应。禹晶等人利用白平衡简化大气散射模型,然后将双边滤波引入到大气透射率图的细化上,避免了使用软抠像方法细化透射率图抑制 Halo 效应带来的巨大时间开销^[7],但是此算法也是从整体上优化透射率图。方帅等人利用图像修补的方法对由暗通道先验理论估计的粗略透射率图进行平滑操作来抑制 Halo 效应^[8],但是复杂的修补方法导致图像的处理速度非常慢。褚宏莉等人对景深突变处和非景深突变处分别使用小模板和大模板求解暗通道,从一定程度上抑制了光晕^[9],但是由于仍然利用了模板求取暗通道,使得最终恢复的清晰图像中还是存在光晕。

比较分析以上抑制 Halo 效应的方法,可以发现,这些方法或者是对大气散射模型进行变形寻找其他方式求取透射率图,或者仍以大气散射模型为基础利用暗通道先验理论得到粗略的透射率图,再利用整体策略优化透射率图。本文提出的一种基于 Sigmoid 函数的抑制 Halo 效应的有效算法仅仅通过对出现光晕的区域优化透射率图来达到抑制 Halo 效应的目的,而不是处理整个图像区域,即首先通过大量观察发现产生光晕的位置并总结其规律,进而构造了一个具有方向性的二维 Sigmoid 模板,然后通过对暗通道先验理论得到的粗略透射率图进行边缘检测,获得景深突变处像素点的坐标和方向角,再利用已构造的 Sigmoid 模板判断该处出现光晕的准确位置,并将非光晕区域的像素值赋给光晕区域,从而得到优化后的透射率图,最终利用此优化的透射率图并引入一种容差机制还原出清晰无光晕的图像。大量实验表明,此算法简单易行,大大降低了算法的时间复杂度,避免了由于整体优化造成的颜色失真,改善了复原效果。

2 暗通道先验去雾算法

2.1 雾天图像退化模型

在计算机视觉和计算机图形学中,Narasimhan 和 Nayar 基于 McCartney 的衰减模型和环境光模型推导出的在雾、霾天气条件下的大气散射模型^[10]如图 1 所示,其被广泛地应用于去雾技术的研究。该模型可以表示如下:

$$I(x) = A\rho(x)e^{-\beta d(x)} + A(1 - e^{-\beta d(x)}) \quad (1)$$

其中, $I(x)$ 表示观察到的输入图像(雾天图像), A 表示大气光值,通常假设为全局常量, $\rho(x)$ 和 $d(x)$ 分别表示空间 x 坐标处的场景反照率和景深, β 表示大气粒子的散射系数。

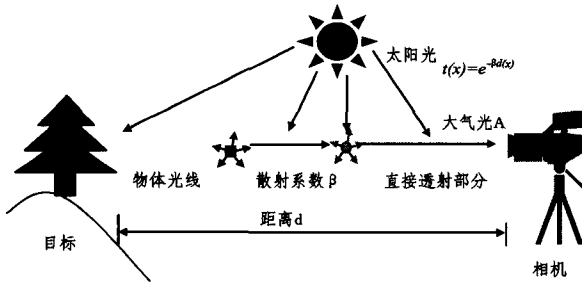


图1 大气散射模型

而大气散射模型由两部分组成。第一部分 $A\rho(x)e^{-\beta d(x)}$ 为衰减模型(Attenuation model),也称为直接传播(Direct transmission)或直接衰减(Direct attenuation)。在大气粒子

的散射作用下,物体的一部分反射光线发生散射而偏离传播路径,未被散射的部分直接到达成像设备,光强随着传播距离的增大而减小。第二部分 $A(1 - e^{-\beta d(x)})$ 为环境光模型(Air-light model),这是因为大气粒子对自然光的散射引起大气表现出光源的特性,环境光的强度随着传播距离的增大而增大。

因此,直接衰减模型和环境光模型共同作用使得图像退化降质。通常,将式(1)简化为下式^[5,11]:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2)$$

其中, $J(x) = A\rho(x)$ 表示清晰无雾的图像, $t(x) = e^{-\beta d(x)}$ 表示透射率图,因为散射系数 β 一般为常数,所以 $t(x)$ 只与景深有关。因此,图像去雾的实质就是根据有雾图像 $I(x)$ 计算出 A 、 $t(x)$,从而复原出无雾图像 $J(x)$ 。

2.2 暗通道先验理论

由于去雾的目的就是通过对原雾天图像进行去雾处理将其复原成接近原来在无雾或者晴朗天气条件下拍摄的图像,因此去雾后的图像应该满足 He 在 2009 年提出的暗通道先验统计规律^[4]。

他们随机选取 5000 幅图像,并人工剪切去除天空区域,然后将这些图像进行尺寸归一化,再利用 15×15 模板求取暗通道,最后由统计数据得出规律:在绝大部分户外无雾图像中,除去天空区域,图像的其它部分在 R、G、B 3 个通道上至少有一个颜色通道的数值非常低或者接近于 0,即 $\min_{c \in \{r, g, b\}} (J^c(y))$ 非常低或者接近于 0。若选择某一 x 像素的邻域 $\Omega(x)$ 内所有像素 $\min_{c \in \{r, g, b\}} (J^c(y))$ 的最小值作为该像素的暗通道 $J^{dark}(x)$,则其非常接近于 0,即

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in \{r, g, b\}} (J^c(y))) \rightarrow 0 \quad (3)$$

2.3 图像复原

由文献^[5]可知,在大气光值 A 已知的情况下,对式(1)两边同取暗通道后,再结合式(3)可求得透射率图 $t(x)$,即

$$t(x) = 1 - w \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) \quad (4)$$

其中, w 是为了防止彻底去雾导致失真而设置的常量参数,He 算法中设置 w 为 0.95。同时,为了防止某些像素的透射率 $t(x)$ 太小而导致恢复后的结果成为噪声点,同时也为了增强复原图像的曝光度,最终复原结果可以表示为:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (5)$$

其中, t_0 是为了限制透射率 $t(x)$ 而设置的一个下限,He 算法中设置 t_0 为 0.1。

然而,通过大量的实验得知,基于暗通道先验理论的去雾结果出现了颜色失真。造成此种现象的主要原因是一般的雾天图像都包含天空、偏白色物体、水面等大面积明亮区域,而这些区域不满足暗通道先验假设。文献^[12]提出了一种分割天空区域的方法,即先判断天空区域和非天空区域,对于天空区域运用新的透射率。通过调整明亮区域的透射率,使估计的透射率更加符合实际透射率,同时不破坏基于暗原色先验理论去雾的基本框架。因此,本文引用此方法,得到新的透射率计算公式如下:

$$t''(x) = \begin{cases} \max(t'(x), t_0), & |I - A| \geq K \\ \min(\frac{K}{|I - A|} \cdot \max(t'(x), t_0), 1), & |I - A| < K \end{cases} \quad (6)$$

其中,参数 K 为容差, $t'(x)$ 为利用本文提出的算法优化后的透射率图, $|I-A|$ 大于 K 的区域被认为是满足暗通道先验的区域, $|I-A|$ 小于 K 的区域被认为是明亮区域, 本算法中 K 取 $0.35A$ 。

最后, 结合式(2)、式(6)、大气光值 A 和雾天图像 $I(x)$ 可求得清晰无光晕的图像 $J(x)$, 即

$$J(x) = \begin{cases} \frac{I(x)-A}{\max(t(x), t_0)} + A, & |I-A| \geq K \\ \frac{I(x)-A}{\min(\frac{K}{|I-A|} \cdot \max(t(x), t_0), 1)} + A, & |I-A| < K \end{cases} \quad (7)$$

图 2(b) 为分别对图 2(a) 中的雾天图像利用暗通道先验理论去雾得到的结果图, 圈内为光晕所在区域。其中, 图 2(a) 中的 4 幅图都来自于网络中的风景或建筑物图, 由于这些图像的景深出现明显突变, 因此利用暗通道先验理论去雾后必定产生光晕现象。

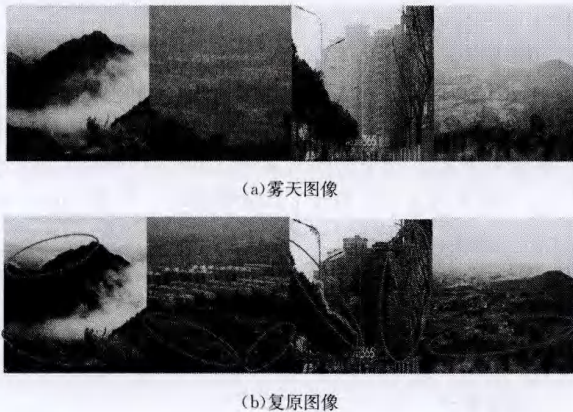


图 2 利用暗通道先验理论去雾得到带有光晕的清晰图像

3 构造 Sigmoid 模板

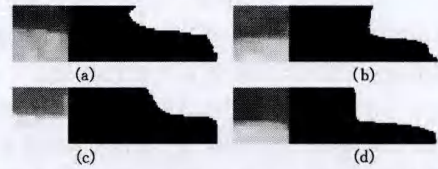
3.1 光晕的成因及结构特点

如图 2 所示, 在由上述过程得到的清晰图像中出现了严重的 Halo 效应, 文献[5]分析得出光晕现象的产生归结于暗通道求取时采用的块操作。在对景深突变处的某个像素值很小或某个通道的像素值很小的像素点 x 求取暗通道时, 以该点为中心的 $m \times m$ 范围内像素的暗通道值被其“连累”, 即使得原本暗通道值较大的像素点的暗通道值变小, 暗通道向外“扩张”。由于传输率与暗通道互为逆操作, 因此, 在得到的透射率图上“明亮”的部分向外扩张, 覆盖了景深较大部分的一些边缘, 从而使得原的清晰图像中出现 Halo 效应。因此, 对比图 2(b) 中的结果和图 3 所示的透射率图可以看出, 光晕位于透射率图中梯度变化较大的边缘处, 即复圈所标注的区域。

分别抽取图 3 中部分圈标注的部分区域如图 4 中每幅图的左图所示, 其中较亮区域为产生光晕的区域, 且光晕区域的高度一般为模板宽度的一半。将其沿与光晕垂直的方向投影, 得到如图 4 中每幅图的右图所示的水平投影直方图, 然后将此水平投影直方图的边界粗略地近似为如图 5 所示的曲线。然而此曲线与 Sigmoid 函数的时域波形(如图 6 所示)很相似, 此时域波形图由原始 Sigmoid 函数向下平移 0.5 个单位, 横坐标缩小为原来的 $1/5$, 纵坐标扩大为原来的 5 倍得到。



图 3 由暗通道先验理论得到的透射率图



(a)、(b)、(c)、(d) 分别为从不同透射率图中抽取的光晕部分及其水平投影直方图

图 4 光晕的水平投影直方图

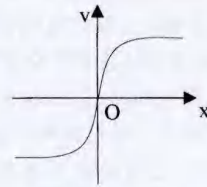


图 5 光晕水平投影直方图的近似曲线

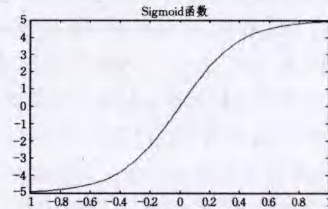


图 6 Sigmoid 函数的时域波形

3.2 构造二维 Sigmoid 模板

Sigmoid 函数是一种神经元的非线性作用函数, 也是一个良好的阈值函数, 且是一个连续、可导、有界、关于原点对称的增函数。其时域关系如下:

$$f(x, a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (8)$$

其时域波形如图 6 所示, 取 $a=5, c=0$ 。由于构造的模板具有方向性, 因此将 Sigmoid 函数转变为具有方向性的二维 Sigmoid 函数, 并利用其构造模板。其表达式为:

$$f(x, y, a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a((x-c)\cos\theta + (y-c)\sin\theta)}} \quad (9)$$

约束条件为:

$$x\cos\theta = y\sin\theta \quad (10)$$

其中, θ 是旋转角度, 设置 $\theta=0, a=5, c=0$ 时的时域波形图如图 7 所示。

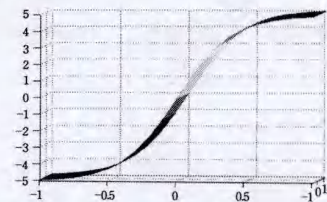


图 7 具有方向性的二维 Sigmoid 函数的时域波形

本算法在利用 5×5 的模板求取暗通道、 3×3 的模板优

化透射率图的时候效果最好。因此,结合光晕的成因及其结构特点,将具有方向性的二维 Sigmoid 函数离散化,得到如图 8 所示 3×3 的具有方向性的 Sigmoid 模板。

$$\begin{array}{cc}
 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \\
 \text{(a) } 0^\circ \text{ 方向} & \text{(b) } 45^\circ \text{ 方向} \\
 \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 \text{(c) } 90^\circ \text{ 方向} & \text{(d) } 135^\circ \text{ 方向}
 \end{array}$$

图 8 3×3 Sigmoid 模板

其中,每个模板都可以分解为两个子模板,如图 8(a)可以分解为如图 9 所示的两个子模板 a(等号右第一项)和 b(等号右第二项)。

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

图 9 模板分解

上述模板的作用是在已知透射率图中边界点方向角的情况下,选择相应角度的模板,然后利用此模板分解得到的子模板判断光晕和非光晕区域,并将非光晕区域的像素值赋值给光晕区域,从而得到优化的透射率图 $t'(x)$ 。

4 雾天图像复原方法

4.1 算法流程

本文去雾算法的整体流程如图 10 所示。首先,求取有雾图像的暗通道,再将暗通道由大到小排序,找出其中最亮的前 0.1% 的像素,最后用这些像素对应雾天图像中的最大像素值作为大气光值 A ;其次,根据暗通道先验理论,再结合已求得的暗通道和大气光值 A ,求取粗略的透射率图;然后,通过分析光晕出现的位置和结构特点,利用由 Sigmoid 函数构造的具有方向性的二维 Sigmoid 模板对粗略的透射率图进行优化,从而有效抑制 Halo 效应;最后,引入一种容差机制^[11]分割出天空和非天空区域,对二者应用不同的透射率复原出清晰无光晕的图像。

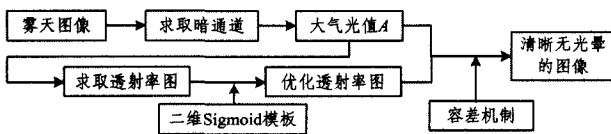


图 10 去雾算法流程

4.2 大气光值的估计

已有的大部分单幅图像去雾方法主要是由受雾气影响最亮的像素求得大气光值的估计,如 Tan^[13]采用图像中最大的像素值作为 A 。但是,图像中像素值最大的像素点有可能是图像中亮度很高的目标,因此, A 的估计值往往出现错误。

本文利用暗通道图像来估计大气光值,首先对雾天图像求取的暗通道由大到小排序,然后找出其中最亮的前 0.1% 的像素,最后用对应雾天图像中的最大像素值作为大气光值 A ,即:

$$A = \max_{y \in \Omega(x)} (I(y)) \quad (11)$$

其中, $\Omega(x) = \{x | x \text{ 在暗通道中最亮的前 } 0.1\% \text{ 的像素所对应的空间坐标}\}$ 。按这种方法取得的大气光值 A 可能不是整幅图像中亮度最大的值,从而避免了大气光值 A 的错误估计。

4.3 优化透射率图

本文利用 2.4 节介绍的由 Sigmoid 函数构造的具有方向性的二维 Sigmoid 模板优化透射率图,其算法流程如下。

步骤 1 对由暗通道先验理论求取的粗略透射率图 $t(x)$ 进行边缘检测,得到边缘图像 $A(x, y)$,再对其进行二值化,得到二值边缘图像 $B(x, y)$ 。

步骤 2 存储 $B(x, y)$ 中值为 255 的像素点的坐标 (i, j) ,即为光晕区域和非光晕区域边界点的坐标。

步骤 3 依次取出这些边界点,再在二值边缘图像 $B(x, y)$ 中找到此点,然后利用 Sobel 算子计算此点的方向角 $\theta(i, j)$,具体方法如下。

第一步 利用 Sobel 算子计算此模板区域内所有点 (u, v) 的 x 梯度和 y 梯度,即 $G_x(u, v)$ 、 $G_y(u, v)$, $u \in (i-w/2, i+w/2)$, $v \in (j-w/2, j+w/2)$,其中 w 为二维 Sigmoid 模板宽度或高度(二者相同)减 1。Sobel 模板系数表示如下:

$$\begin{array}{cc}
 x \text{ 轴方向} & y \text{ 轴方向} \\
 \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

第二步 计算以点 (i, j) 为中心的方向角 $\theta(i, j)$,计算公式为式(12)一式(14):

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2G_x(u, v)G_y(u, v) \quad (12)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v)) \quad (13)$$

$$\theta(i, j) = \tan^{-1} \left(\frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)} \right) \quad (14)$$

步骤 4 根据此点的方向角 $\theta(i, j)$ 选择相应旋转角度的二维 Sigmoid 模板,将由此模板分解得到的两个子模板(模板 a、模板 b)的中心置于透射率图中与此点相对应的像素点上,然后计算模板 a 和模板 b 中非 0 值在透射率图中对应的两个区域的像素平均值,分别记作 V_a 和 V_b 。

步骤 5 比较两个像素平均值的大小,从而判断模板对应透射率图中的光晕区域和非光晕区域,并将非光晕区域的像素值赋值给光晕区域。如,若 $V_a \leq V_b$,则判断模板 a 对应的区域为非光晕区域,模板 b 对应的区域为光晕区域,进而将非光晕区域的像素值赋值给光晕区域,其具体步骤如下。

第一步 将模板 a 中 0 值在透射率图中对应的像素值赋值为 0;

第二步 将模板 a 中非 0 值在透射率图中对应的像素值经过中心旋转后赋值给模板 b 中非 0 值在透射率图中对应的像素;

第三步 将透射率图中像素值为 0 的像素赋值为 V_a ,由此得到优化后的透射率图 $t'(x)$ 。

若 $V_a > V_b$,处理方式与如上步骤同理。

优化后的透射率图 $t'(x)$ 如图 11 所示。可以看到,与由暗通道先验理论估计的粗略透射率图 $t(x)$ 相比,利用本文提出的抑制 Halo 效应的有效算法得到的透射率图,在景深突变处的边缘向景深较小区域缩进表现得更加突出,即光晕部分被有效地抑制。



图 11 透射率图的比较

5 实验结果

为了验证本文提出的抑制 Halo 效应的算法的有效性,展示本文算法的复原效果,将其与 He 算法和 Tarel 算法进行比较。实验中所用到的图像一部分来自于网络,如图 12 中的第 1、2、4 幅,另一部分来自于其他文献使用到的图像,如图 12 中的第 3 幅。本文选择利用暗通道先验理论去雾时出现大量光晕的图像进行处理,并从主观和客观两个方面评价复原后图像的去雾效果。本算法是在操作系统为 Win7, Intel(R) Core i3@2.20GHz、内存为 2GB 的 PC 上, Visual Studio 2010 环境下实现的,下面给出实验结果分析。

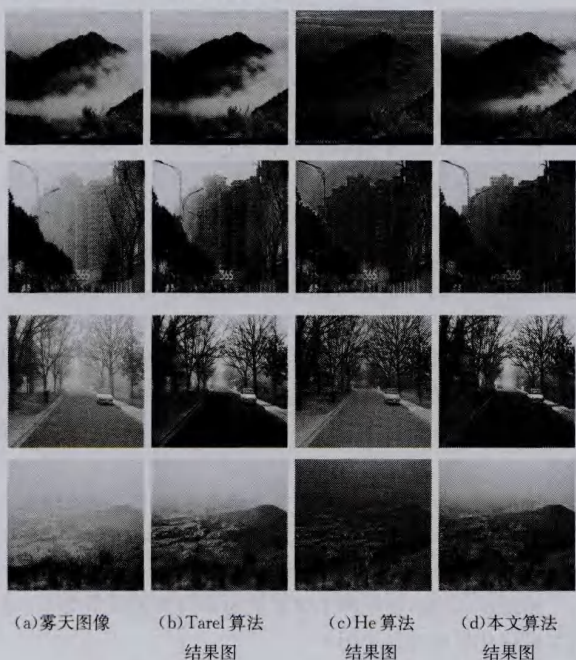


图 12 图像去雾结果

5.1 主观评价

图 12(d)为本算法的去雾效果图,可以看出,本算法有效地去除了图像中的雾霾,也有效地抑制了 Halo 效应,并且可以处理带有大面积天空区域的雾天图像,恢复了场景真实的

对比度和颜色,提高了图像的视见度。

图 12(b)为 He 算法的去雾效果图,本算法与 He 算法对图像的对比度和颜色恢复得较好,而且本算法对天空区域的雾气消除得更好。从细节上分析,可以看出本算法对景深突变处存在的光晕进行了有效的抑制。从图 12(c)所示的 Tarel 算法去雾效果图可以看出, Tarel 算法恢复图像的颜色过于饱和,天空区域发生了严重的颜色失真,且在景深突变的边界处易产生 Halo 效应。

5.2 客观评价

5.2.1 运算速率^[14]

将本文算法与 He 算法、Tarel 算法进行比较,得到各类算法的运算速率,结果如表 1 所列。从表中可以很容易地发现,本算法的平均运算时间明显少于 He 算法和 Tarel 算法的平均运算时间,因此,本算法的实时性更好。

表 1 本文算法与 He 算法和 Tarel 算法运行时间的比较

图像大小/像素	He 算法/ms	Tarel 算法/ms	本文算法/ms
304×240	11.6703	1.5942	0.559205
526×712	61.136	25.927	2.78938

5.2.2 定量分析

由于雾天图像的边缘信息和细节信息丢失严重,同时图像的清晰度也严重受损,而雾天图像复原的主要目的就是恢复图像上的边缘信息和细节信息,提高图像的清晰度。因此,本文引用文献[8]所采用的定量评价方法对不同的图像复原方法进行评价,即通过对图像进行微分来计算图像的边缘信息和细节信息。聚焦评价函数是针对此方面的评价标准,因此选取 TenenGrad 函数、Brenner 函数、方差函数、平方梯度函数、Vollath 函数、加窗梯度函数和熵函数作为定量比较函数。对于这些函数来说,输出值越大说明图像清晰度越高,算法的复原效果越好。先将图 12 中的 4 幅雾天图像由上到下进行编号,分别为图 I—图 IV,再对这 4 幅图像依次利用 He 算法、Tarel 算法和本文算法进行图像复原后得到的结果图取取以上函数,定量分析的结果如表 2—表 5 所列。

表 2 不同算法复原图 I 所得清晰图像的定量分析结果比较

	综合判定结果	Tenen Grad 函数	Brenner 函数	方差函数	平方梯度函数	Vollath 函数	加窗梯度函数	熵函数
雾天图像	66.34	52.94	56.89	79.08	55.26	79.01	52.26	99.07
Tarel 算法	77.75	100	100	27.42	100	25.47	100	97.21
He 算法	86.82	82.31	81.59	96.18	82.41	95.96	69.61	100
本文算法	92.97	85.14	88.31	100	86.83	100	96.75	99.22

表 3 不同算法复原图 II 所得清晰图像的定量分析结果比较

	综合判定结果	Tenen Grad 函数	Brenner 函数	方差函数	平方梯度函数	Vollath 函数	加窗梯度函数	熵函数
雾天图像	67.78	51.36	62.18	85.94	46.67	88.48	43.65	100
Tarel 算法	78.14	90.67	100	44.23	88.54	41.51	85.18	96.39
He 算法	75.58	62.28	71.59	89.18	59.91	91.04	61.13	97.66
本文算法	98.72	100	96.83	100	100	100	100	93.52

表 4 不同算法复原图 III 所得清晰图像的定量分析结果比较

	综合判定结果	Tenen Grad 函数	Brenner 函数	方差函数	平方梯度函数	Vollath 函数	加窗梯度函数	熵函数
雾天图像	59.93	43.54	54.78	81.76	37.39	80.99	23.53	97.18
Tarel 算法	62.07	61.31	66.37	49.56	60.31	47.95	59.09	98.83
He 算法	80.77	69.48	74.89	93.71	68.69	95.55	67.28	100
本文算法	99.76	100	100	100	100	100	100	97.64

表5 不同算法复原图 IV 所得清晰图像的定量分析结果比较

	综合判定结果	Tenen Grad 函数	Brenner 函数	方差函数	平方梯度函数	Vollath 函数	加窗梯度函数	熵函数
雾天图像	59.93	43.54	54.78	81.76	37.39	80.99	23.53	97.17
Tarel 算法	75.51	100	100	21.39	100	19.98	100	92.35
He 算法	83.90	73.47	71.89	95.38	77.44	95.19	86.74	98.17
本文算法	95.26	93.15	88.59	100	95.49	100	93.63	100

上述表中的综合判定结果是通过给 TenenGrad 函数、Brenner 函数、方差函数、平方梯度函数、Vollath 函数、加窗梯度函数和熵函数的输出值分别赋予 20%、20%、20%、10%、10%、10%、10% 的权值得到的。

从中可以看出,本文算法的综合判定结果都是最高的,因此,利用本文提出的算法进行去雾得到的图像更清晰,更有效地抑制了 Halo 效应。虽然有些分析结果要低于 Tarel 算法,但是 Tarel 算法还原得到的图像的颜色过于饱和,出现了严重的颜色失真,而本文算法完好地保留了原图像的色彩。

结束语 通过对图像中光晕的位置和结构特点进行大量的观察和分析,提出了一种基于 Sigmoid 函数的抑制 Halo 效应的有效算法。同时,引入了一种容差机制来分割出不满足暗通道先验的天空区域,弱化对于此区域的去雾,增加了算法的鲁棒性。本算法的特色在于所构造的模板仅仅处理出现光晕的区域,而不是处理整个图像区域,因此避免了传统方法中非光晕区域的颜色失真问题。最终通过大量实验表明,本算法有效、简单易行、运算速率快、复原效果好。

但是,本文算法引入了一些参数,而这些参数都是经验值,适用于大部分图像,对于少部分图像的处理效果不是特别理想。同时,本文算法虽然有效地抑制了 Halo 效应,但未完全消除,其难点在于准确确定光晕出现的位置及方向,构造更加合理的模板来消除 Halo 效应。因此,针对不同图像自适应获取这些参数,准确确定光晕出现的位置、方向及构造更加合理的模板是今后努力的方向。

参考文献

- [1] 禹晶,徐东彬,廖庆敏. 图像去雾技术研究进展[J]. 中国图象图形学报,2011,16(9):1561-1575
Yu J, Xu D B, Liao Q M. Image defogging: a survey[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(9): 1561-1575
- [2] 郭璠. 图像去雾方法和评价及其应用研究[D]. 长沙:中南大学, 2012
Guo P. Research on Image Defogging, Effect Assessment and Application[D]. Changsha: Central South University, 2012
- [3] Namer E, Schechner Y Y. Advanced visibility improvement based on polarization filtered images[C]// Proceedings of the Polarization Science and Remote Sensing, 2005. San Diego, USA; SPIE, 2005: 36-45
- [4] He K M, Sun J, Tang X O. Single image haze removal using dark channel prior[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. Miami, USA: IEEE, 2009: 1956-196
- [5] 钟乾龙. 单幅图像去雾处理算法研究及软件实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2012
Zhong Q L. The Research of Single Image-Defogging Processing Algorithm and Software Implement[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012
- [6] Tarel J, Hauti N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2009. Kyoto, Japan: IEEE Computer Society, 2009: 2201-2208
- [7] 禹晶, 李大鹏, 廖庆敏. 基于物理模型的快速单幅图像去雾方法[J]. 自动化学报, 2011, 37(2): 143-149
Yu J, Li D P, Liao Q M. Physics-based Fast Single Image Fog removal[J]. Acta Automatica Sinica, 2011, 37(2): 143-149
- [8] 方帅, 王勇, 曹洋. 单幅雾天图像复原[J]. 电子学报, 2010, 38(10): 2279-2284
Fang S, Wang Y, Cao Y. Restoration of Image Degraded by Haze [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(10): 2279-2284
- [9] 褚宏莉, 李元祥, 周则明, 等. 基于黑色通道的图像快速去雾优化算法[J]. 电子学报, 2013, 41(4): 791-797
Chu H L, Li Y X, Zhou Z M, et al. Optimized Fast Dehazing Method Based on Dark Channel Prior[J]. Acta Electronic Sinica, 2013, 41(4): 791-797
- [10] Narasimhan S G, Nayar S K. Chromatic framework for vision in bad weather[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2000. Hilton Head Island, SC, USA: IEEE Computer Society, 2000: 1598-1605
- [11] Fattal R. Single image dehazing [J]. ACM Transaction on Graphics, 2008, 27(3): 1-9
- [12] 蒋建国, 侯天峰, 齐美彬. 改进的基于暗原色先验的图像去雾算法[J]. 电路与系统学报, 2011, 16(2): 7-12
Jiang J G, Hou T F, Qi M B. Improved Algorithm on Image Haze Removal Using Dark Channel Prior[J]. Journal of Circuits and Systems, 2011, 16(2): 7-12
- [13] Tan R. Visibility in bad weather from a single image[C]// Proceedings of IECVPR, 2008. Anchorage, Alaska: IEEE Computer Society, 2008: 1-8
- [14] 王一帆, 尹传历, 黄义明, 等. 基于双边滤波的图像去雾[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(3): 386-392
Wang Y F, Yin C L, Huang Y M, et al. Image Haze Removal Using a Bilateral Filter[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(3): 386-392
- [15] Xia Tian, Tao Da-cheng, Mei Tao, et al. Multiview spectral embedding[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2010, 40(6): 1438-1446
- [16] Bosch A, Zisserman A, Munoz X. Image classification using random forests and ferns[C]// Proceedings of International Conference on Computer Vision. New York: IEEE, 2007: 1-8
- [17] Siagian C, Itti L. Rapid Biologically-Inspired Scene Classification Using Features Shared with Visual Attention[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(2): 300-312
- [18] Cheng Bin, Liu Guang-can, Wang Jing-dong, et al. Multi-task Low-rank Affinity Pursuit for Image Segmentation[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. New York: IEEE, 2011: 2439-2446

(上接第 93 页)