

# 基于暗通道先验的单幅图像去雾新算法



何涛<sup>1</sup> 赵停<sup>1</sup> 徐鹤<sup>2,3</sup>

1 南京邮电大学电子与光学工程学院 南京 210023

2 南京邮电大学计算机学院、软件学院、网络空间安全学院 南京 210023

3 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室 南京 210003

(het@njupt.edu.cn)

**摘要** 由于暗通道先验去雾算法会使天空等明亮区域产生颜色失真、偏移等问题,对此文中提出基于暗通道先验的单幅图像去雾新算法,提高了图像去雾效果。首先,根据图像的大小设计了一种自适应滤波窗口;其次,为了防止图像中的高亮像素对大气光值估计的影响,利用变差函数去除这些高亮像素,并结合去除高亮像素后图像的暗通道图,估计大气光值;然后,提出了一种结合结构相似性的暗通道先验去雾改进算法,并对透射率进行优化、修正;接着,利用大气散射模型恢复出无雾图像;最后,利用RGB模型和HIS模型的相互转化,增强恢复图像的亮度。实验结果表明,该算法不仅能对图中景物进行较好的去雾,还能较好地处理天空等明亮区域,使处理后的图像有很好的视觉效果。

**关键词:** 图像去雾;暗通道先验;结构相似性;明亮区域;导向滤波

**中图分类号** TP391

## Novel Algorithm of Single Image Dehazing Based on Dark Channel Prior

HE Tao<sup>1</sup>, ZHAO Ting<sup>1</sup> and XU He<sup>2,3</sup>

1 College of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China

2 School of Computer Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China

3 Jiangsu Key Laboratory of Wireless Sensor Network High Technology Research, Nanjing 210003, China

**Abstract** Because the dark channel prior dehazing algorithm will cause color distortion and offset in bright areas such as the sky, a novel algorithm of single image dehazing based on dark channel prior is proposed to improve the image dehazing effect. Firstly, according to the size of the image, an adaptive filtering window is designed. Next, in order to prevent the influence of the highlight pixels in the image on the estimation of the atmospheric light value, the variogram is used to remove the highlight pixels, and the atmospheric light value is estimated by combining the dark channel map of the image after removing the highlight pixel. Then, an improved dark channel prior dehazing algorithm combined with structural similarity is proposed, and the transmittance is optimized and corrected. And then, the atmospheric scattering model is used to recover the fog-free image. Finally, the mutual conversion of the RGB model and the HIS model are used to enhance the brightness of the restored image. The experimental results show that the proposed algorithm can not only better dehaze the scene in the picture, but also better deal with bright areas such as the sky, so that the processed image has a good visual effect.

**Keywords** Image dehazing, Dark channel prior, Structural similarity, Bright area, Guided filter

## 1 引言

随着社会的发展,环境污染逐渐加剧,越来越多的城市频繁出现雾霾,这不仅给人们的身心健康带来危害,还给那些依

赖图像信息的计算机视觉系统造成了不良影响,因为在雾天采集到的图像对比度和饱和度均较低,颜色易发生偏移与失真等。因此,寻找一种简单有效的图像去雾方法,对计算机视觉的后续研究至关重要。

到稿日期:2020-07-26 返修日期:2020-10-06 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFB2103003);国家自然科学基金(61672296,61872196,61872194,61902196);江苏省科技支撑计划项目(BE2019740);江苏省高等学校自然科学研究重大项目(18KJA520008);江苏省六大人才高峰高层次人才项目(RJFW-111)。

This work was supported by the National Key R&D Program of China(2019YFB2103003), National Natural Science Foundation of China(61672296,61872196,61872194,61902196), Scientific and Technological Support Project of Jiangsu Province(BE2019740), Major Natural Science Research Projects in Colleges and Universities of Jiangsu Province(18KJA520008) and Six Talent Peaks Project of Jiangsu Province(RJFW-111).

通信作者:徐鹤(xuhe@njupt.edu.cn)

目前的图像去雾方法大致分为两类:图像增强和图像复原。图像增强方法是利用某种图像增强算法,基于图像本身进行去雾;图像复原方法则是基于物理模型进行去雾。而本文基于单幅图像暗通道先验去雾算法<sup>[1]</sup>,对大气光值和透射率的估计进行修正,最后对复原图像进行亮度增强。

## 2 研究状况

### 2.1 图像增强方法去雾

图像增强方法去雾是基于图像本身进行去雾,不考虑雾气导致的图像降质,直接使用某种图像增强的算法进行去雾。图像增强算法主要分为全局化图像增强和局部化图像增强。

#### (1) 全局化图像增强算法

全局化图像增强去雾算法包含:1)全局直方图均衡化算法,其实现简单,便于在嵌入式系统中实现<sup>[2]</sup>;2)小波分析的方法,利用小波分析和多尺度分析进行去雾;3)基于 Retinex 算法的去雾方法<sup>[3]</sup>,该算法理论基于颜色恒常性原理,最早由 Land 提出。

#### (2) 局部化图像增强算法

局部化图像增强去雾算法主要包括局部直方图均衡化算法、局部对比度增强算法和局部方差增强算法等。

### 2.2 图像复原方法去雾

图像复原方法是基于大气散射物理模型进行去雾,其利用雾天图像退化模型,估计模型参数,然后还原图像。基于物理模型的图像复原主要包括基于偏微分方程的雾天图像复原<sup>[4]</sup>、基于深度关系的雾天图像复原<sup>[5]</sup>和基于先验信息的雾天图像复原<sup>[1]</sup>。

由于大气散射模型中有很多参数未知,根据基本的代数知识可知这是一个无解的方程,只有在一些先验信息的基础上才能求出方程固定的解。近年来,一些专家学者从这一思想出发,提出了很多去雾算法,并取得了一些成就。例如, Tan<sup>[6]</sup>统计发现,无雾图像与有雾图像相比具有较高的对比度,通过最大化有雾图像的局部对比度可以获得无雾图像,但容易出现色调饱和。Fattal<sup>[7]</sup>提出在光线传播图和场景表面阴影部分局部不相关的假设下,可以推导出光线传播图和无雾图像,但无法适用于浓雾区域。He 等利用暗通道先验信息粗略估计透射率,采用软抠图算法对透射率进行细化<sup>[1]</sup>。由于软抠图计算耗费大量的时间,He 等提出了基于导向滤波的暗通道去雾算法<sup>[8]</sup>,大大减少了去雾时间。Jiang 等<sup>[9]</sup>在暗通道的基础上,提出利用容差机制对透射率进行修正,减少了天空区域的失真,但使用软抠图算法优化透射率用时较长。

暗通道先验算法对天空等明亮区域并不适用,会使这些区域的大气光和透射率估计不准确,导致这些区域易产生颜色失真与偏移,并且去雾图像整体偏暗。鉴于此,本文提出了一种基于暗通道先验的单幅图像去雾新算法(A Novel Algorithm of Single Image Dehazing Based on Dark Channel Prior, SIDNADCP)。该算法采用一种自适应滤波窗口,利用变差函数结合暗通道求得大气光值;然后使用图像结构相似性得到最优的粗透射率,利用导向滤波来优化透射率,并结合容差机

制对粗透射率进行修正;最后根据大气散射模型恢复出无雾图像,并对其亮度进行增强。

## 3 暗通道先验去雾算法

### 3.1 大气散射模型

在计算机视觉和计算机图形学中,方程(1)所描述的大气散射模型<sup>[10]</sup>被广泛使用。

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

其中, $x$ 是图像的空间坐标, $I(x)$ 代表有雾图像, $J(x)$ 代表无雾图像, $A$ 代表大气光值, $t(x)$ 代表透射率。方程右边第一项为场景直接衰减项,第二项为环境光项。

### 3.2 暗通道先验去雾原理

在绝大多数非天空的局部区域中,某些像素总会至少有一个颜色通道的值很低。对于一幅图像  $J(x)$ ,其暗通道的数学定义表示如下:

$$J_{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(x) \right] \quad (2)$$

其中, $\Omega(x)$ 表示以  $x$  为中心的局部区域,上标  $c$  表示 R, G, B 3 个通道。暗通道先验理论指出:对于非天空区域的无雾图像  $J(x)$ 的暗通道趋于 0,即  $J_{\text{dark}}(x) \rightarrow 0$ 。

根据大气散射模型,对式(1)进行变形,得到:

$$\frac{I^c(x)}{A^c} = t(x) \frac{J^c(x)}{A^c} + 1 - t(x) \quad (3)$$

首先,假设每一个窗口的透射率  $t(x)$  为常数,记为  $\tilde{t}(x)$ ,并且  $A$  值已给定,对式(3)两边同时进行两次最小值运算,可得:

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_c \frac{I^c(x)}{A^c} \right] = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_c \frac{J^c(x)}{A^c} \right] + 1 - \tilde{t}(x) \quad (4)$$

其中, $J(x)$ 是要求的无雾图像,根据暗通道先验理论可知:

$$J_{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(x) \right] = 0 \quad (5)$$

将式(5)代入式(4)可得透射率  $\tilde{t}(x)$  的预估值:

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_c \frac{I^c(x)}{A^c} \right] \quad (6)$$

现实生活中,即便晴空万里,空气中也会存在一些颗粒,在眺望远处的景物时,人们还是能感觉到雾的存在。另外,雾的存在让人们感受到景深,因此在去雾的同时有必要保留一定程度的雾。可以通过引入一个  $[0, 1]$  之间的因子  $w$  (一般取 0.95)对预估透射率进行修正,如式(7)所示:

$$\tilde{t}(x) = 1 - w \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_c \frac{I^c(x)}{A^c} \right] \quad (7)$$

以上的推导过程均假设大气光值  $A$  是已知的,在实际中,可以借助暗通道图从原始雾图中求取。先求取暗通道图,在暗通道图中按照亮度的大小提取最亮的前 0.1% 的像素,然后在原始雾图  $I(x)$  中找对应位置上具有最高亮度的点的值,作为大气光值  $A$ <sup>[1]</sup>。

透射率  $t$  偏小时,会造成  $J$  偏大,恢复的无雾图像整体向白场过度,因此有必要对透射率设置一个下限值  $t_0$  (一般取值为 0.1),当  $t$  值小于  $t_0$  时,取  $t = t_0$ 。将以上求得的透射率和大气光值代入式(1),整理得到图像的恢复公式如下:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max[t(x), t_0]} + A \quad (8)$$

使用上面的方法去雾,所得的去雾图像存在明显的白边效应,这是求取的透射率过于粗糙导致的。He等提出用软抠图方法对透射率进行细化<sup>[1]</sup>,由于耗时较长,后来他们又提出了用导向滤波代替软抠图对透射率图进行细化<sup>[8]</sup>。导向滤波方法可以实现平滑和保边的效果,该方法主要集中于简单的盒子滤波,而盒子滤波又有相应的快速算法,因此导向滤波方法的处理时间大大缩减,实用性更强。

## 4 SIDNADCP

在He等的研究<sup>[1,8]</sup>及后来一些学者改进的基础上<sup>[9,11-12]</sup>,本文提出了基于暗通道先验的单幅图像去雾新算法,算法流程如图1所示。首先自适应选择窗口大小,结合变差函数计算大气光值,其次利用自适应获取因子 $\omega$ 和导向滤波细化透射率,然后使用容差机制对透射率进行修正,最后基于HIS模型对图像的亮度进行调整,得到最终的复原图像。

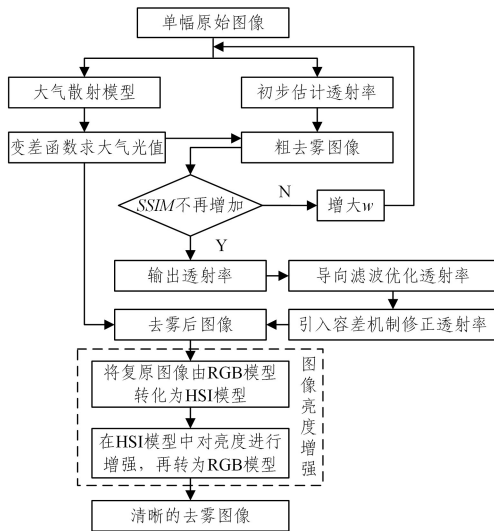


图1 算法流程图

Fig.1 Algorithm flow chart

### 4.1 自适应选择窗口大小

He等在求暗通道图时,运用的最小值滤波窗口大小固定为 $15 \times 15$ ,但是实验表明,处理不同尺寸的雾图应该选择不同尺寸的窗口。本文利用文献<sup>[13]</sup>的方法求窗口大小,因为文献<sup>[13]</sup>提出的自适应窗口选择更加合理精准。

SIDNADCP与文献<sup>[11]</sup>求取大气光值 $A$ 的方法类似。由于在实际的雾图中最亮的像素点不一定来自天空浓雾区域,可能来自一些白色物体,这将导致估计的大气光值偏大。因此,文献<sup>[11]</sup>设置基于变差函数的方法去除这些高亮像素,然后再求窗口大小固定的暗通道图,选取最亮像素的前0.1%的像素点,寻找原始雾图中的最大像素值。与之不同的是,SIDNADCP利用自适应窗口大小求暗通道图,将原始雾图前0.1%的像素点的均值作为大气光值 $A$ ,取均值是为了避免图像中小区域白色明亮物体的影响,这样估计值将更加接近真实值。

### 4.2 暗通道先验改进算法

He等算法引入因子 $\omega$ (取值0.95)对预估透射率的修正会使无穷远处的雾气保存较少,去雾图像失真<sup>[14]</sup>。结合图像结构相似性,本文提出了一种自适应获取因子 $\omega$ 的改进方法,在去雾之前降低图像失真的风险,以得到最佳的视觉效果。

由粗略透射率 $\tilde{t}(x)$ 的估计式(7),根据大气散射模型,可以得到粗略去雾图像 $\tilde{J}(x)$ ,利用感知模型,从亮度、对比度、结构3方面评估 $\tilde{J}(x)$ 与原始雾图 $I(x)$ 的结构相似性 $SSIM_c$ 。结构相似性的值随 $\omega$ 的变化而变化。

因此,为获得最佳的结构相似性,首先设置 $\omega$ 的取值范围为 $[0.6, 1]$ ,根据一定的步长(本文设为0.05)增大 $\omega$ ,获得 $\tilde{t}(x)$ ,计算结构相似性。增大 $\omega$ 时,如果 $SSIM_c$ 的值开始下降,则停止增大 $\omega$ ,将此时的 $\tilde{t}(x)$ 作为最佳 $SSIM_c$ 对应的粗略透射率的值,再使用导向滤波进行优化,并结合容差机制进行修正。

### 4.3 明亮区域透射率的修正

对于无雾的非天空区域,暗通道先验成立,即式(5)成立,而对于无雾的天空或一些明亮区域,暗通道值往往较大,不为0,即式(5)不成立,因此运用暗通道先验算法推导出的透射率不适用于天空等明亮区域<sup>[15]</sup>。天空区域的暗通道值和大气光值很接近<sup>[16]</sup>,即:

$$I_{\text{dark}}(x) \approx A \quad (9)$$

因此,对天空或一些明亮区域运用暗通道先验算法,预估的透射率为:

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_c \frac{I^c(x)}{A^c} \right] \rightarrow 0 \quad (10)$$

根据大气散射模型求解透射率,在文献<sup>[16]</sup>中,天空等明亮区域满足:

$$I_{\text{dark}}(x) \approx J_{\text{dark}}(x) \quad (11)$$

将式(9)和式(11)代入式(12),可得:

$$I_{\text{dark}}(x) = J_{\text{dark}}(x)t(x) + A(1-t(x)) \quad (12)$$

将式(12)整理变形得到式(13):

$$t(x) = \frac{1 - \frac{I_{\text{dark}}(x)}{A}}{1 - \frac{J_{\text{dark}}(x)}{A}} \rightarrow 1 \quad (13)$$

因此,暗通道算法低估了透射率的值,会使天空等明亮区域出现颜色偏移和失真等,需要对该区域的透射率进行调整优化。本文根据文献<sup>[9]</sup>的容差机制对透射率进行修正,引进一个参数 $K$ ,定义为容差,将 $|I-A|$ 定义为限差,当 $|I-A| < K$ 时,认为该区域为天空等明亮区域;当 $|I-A| \geq K$ 时,认为该区域不是天空等明亮区域,而是满足暗通道先验的区域。由此,重新定义式(8)的图像恢复模型,如式(14)所示:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\min \left( \max \left( \frac{K}{|I(x) - A|}, 1 \right) * \max[t(x), t_0], 1 \right)} + A \quad (14)$$

容差机制是基于暗通道先验算法对天空等明亮区域透射率的一种修正。

#### 4.4 图像亮度增强

利用容差机制对透射率进行修正,会使恢复的去雾图像整体偏暗。为了获得更好的视觉效果,有必要提高去雾图像的整体亮度<sup>[17]</sup>。本文利用 RGB 模型到 HIS 模型的转换,将恢复的无雾图像  $J(x)$  的  $R, G, B$  分量转化为  $H, S, I$  分量,这里只需要对亮度  $I$  进行增强,再利用 HIS 模型到 RGB 模型的转换,将新的  $H, S, I$  分量转化为  $R, G, B$  分量,就能得到最终的清晰去雾图像。

#### 4.5 改进的 SIDNADCP

对于天空区域较少或无天空区域的浓雾图像, SIDNADCP 的去雾效果不好,因为远景和近景受大雾的干扰程度不同,近景受大雾的干扰较小,其暗通道值较小,而远景受到的干扰较大,其暗通道值较大。改进的 SIDNADCP 将近景和远景的暗通道相加,且对不同区域设置不同的调节参数,得到混合暗通道<sup>[18]</sup>,再使用混合暗通道去雾,最后利用直方图均衡化方法增强复原图像<sup>[19]</sup>,相当于对图像进行二次去雾。

### 5 实验结果与分析

为了验证本文算法的可行性,在 4 GB 内存、64 位 Win10 系统上,采用 Matlab2018a 对 200 幅有雾图像进行测试,测试图片来自百度、谷歌和去雾领域的一些相关论文。为了验证 SIDNADCP 的有效性,选取与 SIDNADCP 较为接近的 He 等算法<sup>[1]</sup>和 Jiang 等算法<sup>[9]</sup>进行对比。

#### 5.1 去雾评价指标

为了客观地评估去雾效果,本文使用 3 个评价指标:峰值信噪比 PSNR、结构相似性 SSIM 以及恢复图像的均值  $e$ 。

##### 5.1.1 峰值信噪比 PSNR

PSNR 是使用最广泛的图像客观评价标准,它的值取决于原始雾图与恢复图像对应像素之间的误差,即 PSNR 对误差比较敏感,其数值越大,表示图像失真越小<sup>[20]</sup>。PSNR 的定义如下:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (15)$$

其中,  $n$  为每像素的比特数,一般的灰度图像  $n$  取 8,即灰度阶数为 256。MSE 的定义如下:

$$MSE = \frac{1}{h \times w} \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w (I(i, j) - J(i, j))^2 \quad (16)$$

其中,  $h$  为图像的高度,  $w$  为图像的宽度,  $(i, j)$  为像素坐标,  $I(i, j)$  为初始有雾图像,  $J(i, j)$  为恢复的无雾图像。MSE 表示原始雾图与恢复的无雾图之间的均方误差,其值越小,恢复的无雾图像清晰度越高, PSNR 值越大。

##### 5.1.2 结构相似性 SSIM

SSIM 基于感知模型,从亮度、对比度和结构 3 个方面对图像相似性进行评估。SSIM 的定义为:

$$SSIM = L(I, J) \times C(I, J) \times S(I, J) \quad (17)$$

其中,  $L(I, J)$  为亮度,  $C(I, J)$  为对比度,  $S(I, J)$  为结构。SSIM 的取值范围为  $[0, 1]$ , 其值越大,代表失真越小<sup>[21]</sup>。

##### 5.1.3 均值 $e$

图像均值  $e$  越大,整体越亮,图像越清晰,去雾的效果也越好<sup>[13]</sup>。均值的定义如下:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w J(i, j)}{h \times w} \quad (18)$$

#### 5.2 实验数据分析

##### 5.2.1 去雾效果与透射率的对比

本文对透射率进行处理,滤波半径  $r=60$  (滤波半径  $r$  越大,透射率边缘细节优化更好,如果  $r$  过大,则会使去雾后的图像过饱和)<sup>[22]</sup>,利用容差机制再对透射率进行修正,实验中容差  $K$  的值设为 80。图 2 是 He 等算法与本文算法去雾效果和透射率的对比图。从去雾效果图方框圈出区域可以看出,本文算法能较好地解决天空等明亮区域的颜色失真;从透射率图中的方框区域可以看出,本文通过弱化对天空等明亮区域的处理,从而减少了该区域的颜色失真与偏移。

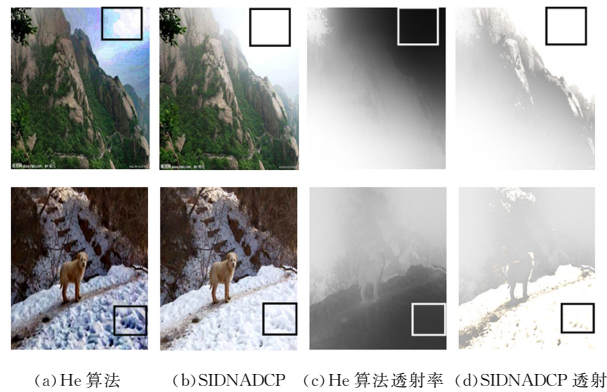


图 2 去雾效果及透射率的对比图

Fig. 2 Comparison chart of dehazing effect and transmittance

##### 5.2.2 图像亮度增强前后的对比

本文将图像亮度变为原来的 1.05 倍(亮度增强过大,易产生饱和现象,造成失真),增强后的图像比较自然,符合人类的视觉感知。图 3 是两组效果对比图,从图中黑色框区域可以看出,在暗通道去雾的基础上,天空等明亮区域透射率的修正消除了色彩失真,对亮度进行增强后,天空等明亮区域偏白,图像的整体色彩更加清晰明亮。



图 3 本文算法图像增强前后的对比

Fig. 3 Comparison of our algorithm before and after image enhancement

He 等算法的窗口大小和因子  $w$  采用固定的值,而 SIDNADCP 基于 He 等的暗通道算法,对窗口大小和因子  $w$  采用自适应的方式获取,同时对大气光值也做了进一步优化,对

天空等明亮区域的透射率也进行了修正。从表1可以看出, SIDNADCP不同阶段的各项评价指标在逐步提高,且都优于He等的暗通道算法。

表1 本文算法不同阶段各项评价指标的对比

Table 1 Comparison of evaluation indicators in different stages of proposed algorithm

实例	SIDNADCP	PSNR	SSIM	$e$
A组	原始雾图	—	—	144.3171
	He等暗通道算法结果	60.5755	0.9918	92.6678
	明亮区域修正结果	71.0548	0.9993	130.8871
	亮度增强结果	<b>71.8924</b>	<b>0.9994</b>	<b>137.4518</b>
B组	原始雾图	—	—	116.2724
	He等暗通道算法结果	59.6818	0.9897	51.3284
	明亮区域修正结果	65.6895	0.9974	84.2263
	亮度增强结果	<b>66.5633</b>	<b>0.9979</b>	<b>88.4255</b>

### 5.2.3 不同算法的分析比较

为了验证SIDNADCP的可行性,选择10幅有雾图像进行对比,实验结果如表2所列。可知, SIDNADCP的峰值信噪比PSNR、结构相似性SSIM和均值 $e$ 的平均值分别为71.6214, 0.9993, 132.77417,都比其他两种算法的平均值高。这是因为相较于其他两种算法, SIDNADCP求暗通道图时采用自适应窗口大小,并结合图像结构相似性自适应地获取因子 $\omega$ 求得粗略透射率,所以在估计大气光值时避免了高亮像素的影响,同时对天空等明亮区域的透射率进行了修正并对复原图像的亮度进行了调整。从图4可以看出,本文算法得到的去雾图像的均值 $e$ 总体上在另两种算法之上,得到的图像也更加清晰。图5给出了对于8幅图像各种算法去雾效果的对比,可以看出, SIDNADCP对天空区域和雪地的处理更加自然,色彩失真较小,但从第7行和第8行可看到,对于天空区域较少或无天空区域的浓雾图像, SIDNADCP的去雾效果不好,因此使用改进的SIDNADCP进行去雾,处理的结果如图6所示,其解决了SIDNADCP对浓雾图像去雾效果不佳的问题。综合比较分析了不同算法的3种评价指标,可知SIDNADCP最优,去雾效果最好。

表2 不同算法的各项评价指标

Table 2 Various evaluation indicators of different algorithms

算法	PSNR	SSIM	$e$
He算法	61.3328	0.9926	89.46497
Jiang算法	63.5243	0.9953	102.29242
SIDNADCP	<b>71.6214</b>	<b>0.9993</b>	<b>132.77417</b>

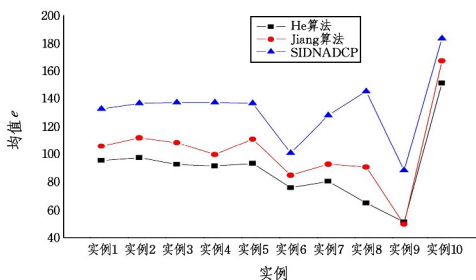
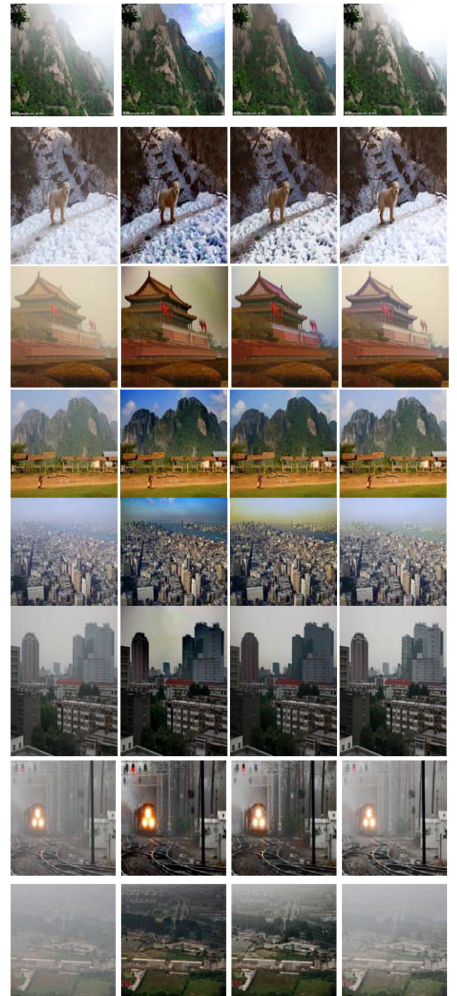


图4 不同算法均值 $e$ 的对比

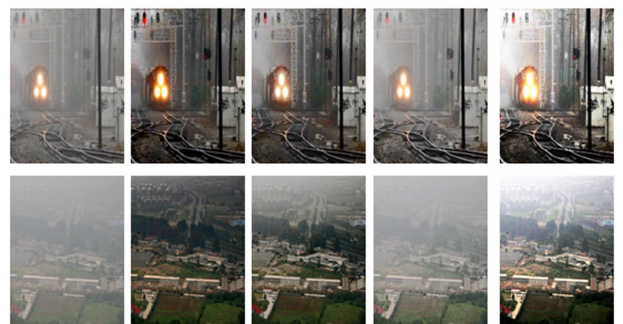
Fig. 4 Comparison of mean  $e$  of different algorithms



(a)输入图像 (b)He算法 (c)Jiang算法 (d)SIDNADCP

图5 不同算法去雾结果的对比

Fig. 5 Comparison of defogging results of different algorithms



(a)输入图像 (b)He算法 (c)Jiang算法 (d)SIDNADCP (e)改进SIDNADCP

图6 天空区域较少或无天空区域的浓雾图像的去雾比较  
Fig. 6 Comparison of defogging images of dense fog in areas with less or no sky

**结束语** 本文提出了一种基于暗通道先验的单幅图像去雾新算法。首先,利用变差函数结合暗通道先验估计大气光值;其次,结合结构相似性信息自适应调节参数因子 $\omega$ ,得到最优的粗略透射率,利用导向滤波优化,结合容差机制对透射率进行修正;然后,根据大气散射模型恢复出无雾图像;最后,利用RGB模型与HIS模型的相互转换,增强图像的整体亮

度,得到最终的无雾清晰图像。与另外两种算法相比,SIDNADCP处理后的图像更清晰,视觉效果更好。从恢复的图像和大量实验数据可以看出,SIDNADCP复原后的含大量天空区域或雪地的图像具有良好的清晰度和色彩还原度,可为图像处理工作提供一种可靠的预处理手段,对监控视频、自动驾驶行车视频记录、视觉导航等研究具有重大意义。未来可将SIDNADCP移植到视频采集的前端,减少后台的运算开销,使得在雪、雾等恶劣环境下,我国陆空领域的监控质量得以提升。

### 参 考 文 献

- [1] HE K M, SUN J, TANG X O. Single image haze removal using dark channel prior[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [2] CHEN Y, ZHU M. Multi-sub-histogram equalization low-light image enhancement and FPGA implementation [J]. China Optics, 2014, 7(2): 225-233.
- [3] XIAO Y F. Research on image Enhancement recovery algorithm based on retinex theory [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [4] SUN Y B, XIAO L, WEI Z H, et al. Outdoor image dehazing method based on partial differential equations [J]. Journal of System Simulation, 2007(16): 3739-3744, 3769.
- [5] OAKLEY J P, SATHERLEY B L. Improving image quality in poor visibility conditions using a physical model for contrast degradation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(2): 167-179.
- [6] TAN R T. Visibility in bad weather from a single image [EB/OL]. [2010-02-25]. <http://people.cs.uu.nl/robby/fog/index.html>.
- [7] FATTAL R. Single image dehazing [EB/OL]. [2010-02-25]. <http://www.cs.huji.ac.il/~raananf/projects/defog/index.html>.
- [8] HE K M, SUN J, TANG X O. Guided image Filtering[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6): 1397-1409.
- [9] JIANG J G, HOU T F, QI M B. Image dehazing algorithm based on dark primary color prior[J]. Journal of Circuits and Systems, 2011, 16(2): 7-12.
- [10] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Vision and the atmosphere [J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 48(3): 233-254.
- [11] TAN L J. Research on improved dark channel prior single image dehazing algorithm for sky recognition[J]. Mini-micro systems, 2019, 40(1): 210-214.
- [12] BAO B, LI Y G. An improved image defogging algorithm based on dark channel prior [J]. Computer and Modernization, 2019 (2): 27-30, 36.
- [13] ZHU W W, YANG L, ZANG X X. Application of Dark Channel Prior Principle to Licensed Plate Detection in Foggy Weather [C]// 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference. 2018: 2591-2595.
- [14] XIE L, XIONG G, YU B, et al. A new method for dehazing atmospheric degradation images based on the dark channel prior [J]. Control Engineering, 2020, 27(2): 207-211.
- [15] LIU Q. A Light intensity reverse algorithm for improving dark channel prior dehazing [C]// 2018 11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). Beijing, China, 2018: 1-9.
- [16] QIU D F, HUANG G H, LIU X, et al. Dark channel dehazing with adaptive estimation of transmittance and atmospheric light [J]. Journal of Computer Applications, 2017, 37(S1): 176-179, 186.
- [17] LI K, LAN S Y, ZHANG J W, et al. Improved image dehazing algorithm based on dark primary color prior [J]. Computer Technology and Development, 2015, 25(2): 6-11.
- [18] SHAO M S. Research on Image Dehazing Based on Hybrid Dark Channel Algorithm [J]. Acta Metrology, 2020, 41(7): 796-800.
- [19] LI Z X, GUO Y, JI J. Design and implementation of an image defogging platform based on histogram [J]. Computer Knowledge and Technology, 2020, 16(6): 180-182.
- [20] ZHANG J W, WANG X Y, YANG C H, et al. Image dehazing based on dark channel prior and brightness enhancement for agricultural remote sensing images from consumer-grade cameras [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 151: 196-206.
- [21] WANG Z, HOU G J, PAN Z K, et al. Single image dehazing and denoising combining dark channel prior and variational models [J]. IET Computer Vision, 2018, 12(4): 393-402.
- [22] ZHANG X C, SUN L J. Image defogging algorithm based on guided filtering and variation function [J]. Computer Technology and Development, 2019, 29(6): 23-26.



**HE Tao**, born in 1972, Ph.D. lecturer. His main research interests include the survivability of wireless sensor networks, the spectrum allocation of mobile cognitive radio networks, and the QoS routing of computer networks.



**XU He**, born in 1985, Ph.D. associate professor, is a member of China Computer Federation. His main research interests include Internet of Things technology application and information security.