

文章编号:1007-2780(2019)01-0090-08

基于三角形循环二分算法的图像去雾研究

郭红丹*

(永城职业学院 电子信息工程系, 河南 永城 476600)

摘要:为了提高图像去雾效果,采用三角形循环二分算法处理图像。首先分析基本暗通道算法图像去雾;接着基于三角形循环二分算法对大气光值精确计算,将图像沿对角线分成 4 个三角形区域,只对雾浓度最较高的区域进行二分图形划分,选取三角形最长边的中点,连接到对应三角形最长边的顶点,循环执行直到满足预先设定的面积阈值;然后自适应调节透射率,避免色彩失真;最后给出了算法流程。实验仿真显示,本文算法去雾后的图像在视觉上更加清晰,可见边集合数目比、平均梯度比值、直方图相似度系数、综合评价指标相比其他算法较好,能够满足图像去雾对清晰度、信息量的要求。

关键词: 循环; 面积阈值; 自适应; 图像去雾

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193401.0090

Image dehazing based on triangle loop dichotomy algorithm

GUO Hong-dan*

(Department of Electronic Information Engineering, Yongcheng Vocational College,
Yongcheng 476600, China)

Abstract: In order to improve the quality of image dehazing, the triangle loop dichotomy algorithm is presented. Firstly, the dark channel prior is used to analyze the image dehazing. Secondly, using triangle loop dichotomy algorithm, the atmospheric light value is calculated accurately, the hazing image is divided into four triangular areas along the diagonal line, and the supreme hazing area is dichotomized only, which is selected the midpoint and connected the vertex of the longest side. The cycle execution is ended until satisfying the preset threshold. Thirdly, the adaptive transmission is made to avoid the color distortion. Finally, the algorithm process was given. The simulation results show that the triangle loop dichotomy algorithm is more clear in visual perception after image dehazing, number of edge sets, average gradient, the histogram similarity coefficient and the comprehensive evaluation index are better than other algorithms. It can satisfy the requirements of image clearness and information.

Key words: loop; area threshold; adaptive; image dehazing

收稿日期:2018-07-11; 修订日期:2018-10-17.

基金项目:河南省教育厅高等学校重点科研项目计划(No. 14B880032)

Supported by Key Project Plan of Scientific Research of Henan Higher Education(No.14B880032)

* 通信联系人, E-mail: guohongdan1982@foxmail.com

1 引言

在雾天环境中,微小粒子存在散射效应,造成雾天环境拍摄的图像对比度低、彩色饱和度弱、图像信息失真严重,不利于后期处理,降低雾、霾等天气对图像质量的影响,有着十分重要的实际意义^[1-2]。

目前国内研究其大致上可以分为两类:一种方法是基于图像增强的去雾方法,通过对有雾图像中的灰度、对比度、色调等参数调节实现图像去雾,属于非物理模型;另外方法是基于大气成像模型的图像去雾方法,通过分析有雾图像的成像过程及原理,利用数学建模实现去雾,属于物理模型。非物理模型的方法主要有直方图均衡化、Retinex^[3],能够提高局部对比度,色彩失真也相对较小,但是恢复后的图像不能有效地反映场景的真实信息,存在图像失真现象。目前研究主要侧重于物理模型,把不易求解的病态问题转化成可求解的函数问题,Gibson 提出中值滤波^[4],但是得到的暗原色值很容易偏大^[4],从而导致景物边缘出现黑斑效应;Tarel 通过中值滤波优化透射率降低算法的复杂度^[5],但是中值滤波的边缘保持效果不是很理想;Zhang 提出将双区域滤波代替中值滤波优化透射率^[6],则对应邻域内三原色通道最小值的中值将偏小,从而造成相应像素点透射率的估值偏高;He 提出了一种基于暗通道先验的去雾方法^[7],对一般户外图像甚至浓雾场景均具有良好的去雾效果,但是对于图像高亮区域无法进行暗通道先验方法。

本文采用改进暗通道(Improved Dark Channel Prior, IDCP)算法,主要提出三角形循环二分法计算大气光值以及自适应调节透射率,实验结果表明,本文方法不仅获得了良好的去雾效果,同时可见边集合数目比、平均梯度比值、直方图相似度系数、综合评价指标较好。

2 图像去雾

2.1 暗通道模型

通过 McCarney 大气散射以及计算视觉知识^[8],暗通道模型可描述为:

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

其中: $I(x)$ 为采集的原始有雾图像, $J(x)$ 为无雾图像, A 为大气光值, $t(x)$ 为雾化透射率, $J(x)t$

(x) 为图像雾化过程衰减因子, $A(1-t(x))$ 为大气光成分作用系数,去雾的目标就是从 $I(x)$ 中恢复 $J(x)$ 、 A 和 $t(x)$ 等相关系数。

He 提出的暗通道图像至少存在一个通道的颜色值趋近于 0, $J(x)$ 的暗通道 $J^{\text{dark}}(y)$ 为:

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

其中: J^c 表示彩色图像每个通道, $\Omega(x)$ 表示以像素 x 为中心的一个窗口。

对雾化降质图像的暗通道图进行递减排序,选取像素值排在前 0.1% 的像素点所对应雾化降质图像像素点集合中的最大值作为 A 的值。

粗略估计透射率:

$$\tilde{t}(x) = 1 - \beta \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in (r, g, b)} \frac{J^c(y)}{A^c} \right), \quad (3)$$

其中:雾气保留系数 β 取值范围为 0~1。

图像恢复:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A, \quad (4)$$

阈值 t_0 是为了减少图像噪声的影响,当 $t < t_0$ 时, $t = t_0$,本文中 $t_0 = 0.1$ 。

2.2 基于三角形循环二分法的大气光值估算

粗估计的大气光值不包含源图像中丰富的边缘特性和纹理细节,准确的边缘信息能够有效帮助去雾,需要保留这些信息^[9]。在源图像中利用三角形循环二分图形法求取大气光常量,由于不进行结构元素滤波操作,不仅避免了错误检测而且算法速度得到了提升。首先将图像沿 4 条边的对角线分成 4 个三角形区域,分别计算 4 个区域的差值,并选取差值最高的区域,大气光要在雾浓度最高的区域确定,且雾浓度越高的区域,像素值越高,像素间的差异越小,均值与标准差的差值就越大,定义每个区域的差值为:

$$S(n_1) = M(n_1) - D(n_1), \quad (5)$$

其中: $S(n_1)$ 为某个三角形区域的均值和标准差之间的差值; $M(n_1)$ 和 $D(n_1)$ 分别为该区域的均值和标准差; n_1 为其中某一区域, $n_1 = 1, 2, 3, 4$ 。

只对雾浓度最较高的区域进行循环二分图形划分,划分过程为:选取三角形最长边的中点,连接到对应三角形最长边的顶点,这样进行第一次的二次划分,定义每个区域的差值为:

$$S(n_{21}) = M(n_{21}) - D(n_{21}), \quad (6)$$

其中: $S(n_{21})$ 为选择的雾浓度最较高三角形区域二次划分后的均值和标准差之间的差值; $M(n_{21})$ 和 $D(n_{21})$ 分别为该区域的均值和标准差; n_{21} 为

其中某一区域, $n_{21}=1, 2$ 。

对第一次的二次划分选取雾浓度最高的区域进行第二次的二次划分:选取三角形最长边的中点,连接到对应三角形最长边的顶点,这样进行第二次的二次划分,定义每个区域的差值为:

$$S(n_{22}) = M(n_{22}) - D(n_{22}), \quad (7)$$

其中: $S(n_{22})$ 为选择的雾浓度最高三角形区域二次划分后的均值和标准差之间的差值; $M(n_{22})$ 和 $D(n_{22})$ 分别为该区域的均值和标准差; n_{22} 为其中某一区域, $n_{22}=1, 2$ 。

然后重复上述过程,直到划分的三角形区域面积的大小满足预先设定的阈值,本文选取的三角形面积区域只要小于原有雾图像面积的 $1/64$ 即可,相当于二次划分共进行了 4 次,最后选取的区域就是雾浓度最高的区域,计算雾浓度最高的区域内各像素点与白色点 $[255, 255, 255]$ 的欧氏距离,距离最小者即为所求最亮像素,计算此像素三通道均值,即为大气光常量。三角形循环二分图形法相比矩形循环四分图形法具有执行速度快的特点。整个过程如图 1 所示。

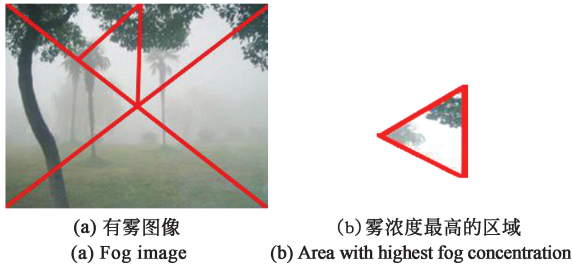


图 1 三角形循环二分法

Fig.1 Triangle loop dichotomy algorithm

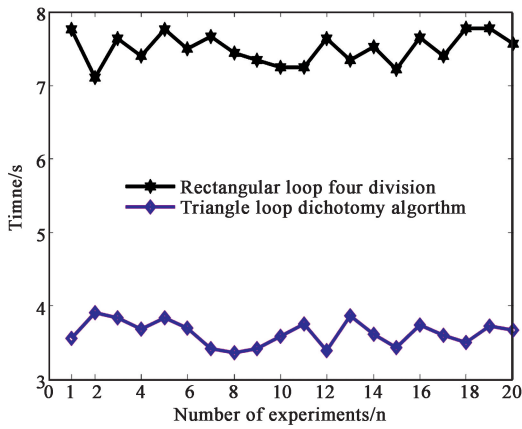


图 2 三角形循环二分法执行时间与循环四分法执行时间对比

Fig.2 Comparison of time of triangle loop dichotomy algorithm and rectangle loop four division

图 1 (a)所示为二次划分共进行了 2 次,图 1 (b)所示为雾浓度最高的区域。找到雾浓度最高的区域三角形循环二分法执行时间与矩形循环四分法执行时间 20 次蒙特卡罗对比实验如图 2 所示。

从图 2 可以看出三角形循环二分法执行时间相比矩形循环四分法执行时间减少了很多,这是因为矩形循环四分法每次执行的时候需要对图像划分 4 个部分然后进行一一对比,需要消耗时间比较多。

2.3 透射率优化

由于暗通道先验假设在图像高亮区域是不成立的,因此高亮区域场景透射率的估测是极不准确的^[10-11]。通过自适应调节参数大小进一步优化透射率,假设不考虑暗原色,求解透射率为:

$$t_{\text{actual}} = \frac{1 - \min_c \left[\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right]}{1 - \min_c \left[\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right]} \quad (8)$$

根据暗原色先验理论可知,分母近似为 1,但对于有雾图像中的白色区域不符合暗通道理论,因此实际的透射率应该比根据暗通道算法得到的值明显要大,单纯运用暗通道算法会出现色彩失真或者明亮的光晕,通过自适应参数优化透射率:

$$\begin{cases} t(x) = 1 - \omega(x) \frac{V^{\text{dark}}(x)}{A^{\text{dark}}} \\ \omega(x) = \left| 1 - \frac{I^{\text{dark}}(x)}{A^{\text{dark}}} \right| \end{cases}, \quad (9)$$

其中: $I^{\text{dark}}(x)$ 为暗原色图像中的某一像素点的像素值。参数 ω 主要是为了保持图像的景深,使去雾后的图像显得更加真实。在白色区域暗原色的像素值与大气光的值很接近时, $|1 - I^{\text{dark}}(x)/A^{\text{dark}}|$ 变小,透射率 $t(x)$ 变大接近于 1,这时去雾强度减弱,更加符合理论值;而在符合暗通道理论的区域, $|1 - I^{\text{dark}}(x)/A^{\text{dark}}|$ 值接近 1,去雾强度变大,此时符合暗通道理论。

2.4 本文算法流程

- ①输入有雾图像;
- ②三角形循环二分法计算大气光值;
- ③自适应优化透射率;
- ④输出去雾图像。

3 实验仿真

3.1 主观评价

实验平台为 CPU: Intel core i5-4460, 3.2

GHz; 内存: 4G。软件平台为 Matlab7.0。实验涉及的算法主要 Retinex、Gibson、Tarel、Zhang、He、IDCP。视觉效果对比分析 2 组不同的实验, 如图 3、图 4 所示。

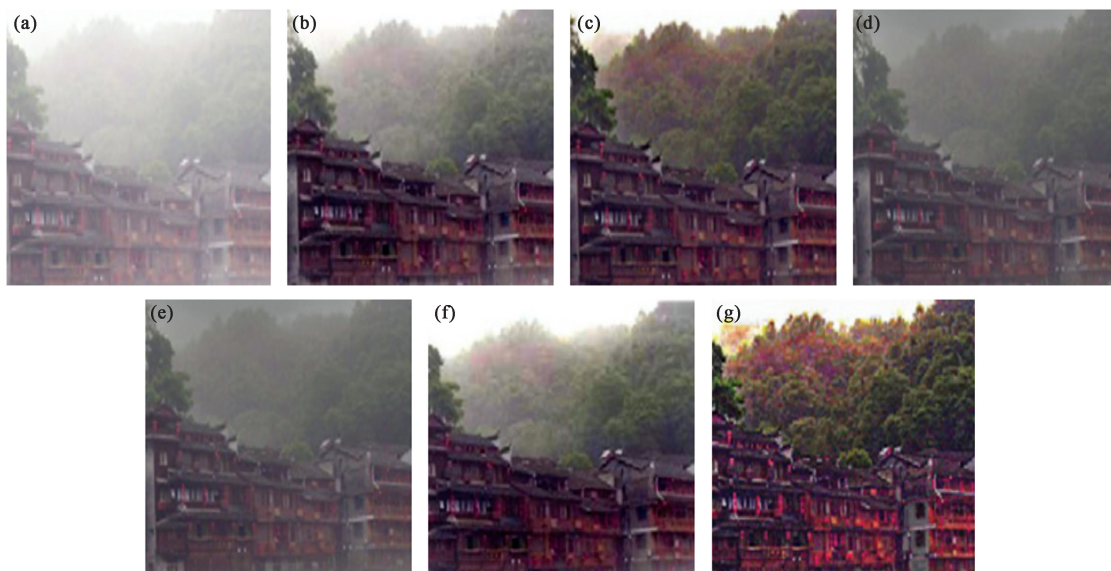


图 3 各种算法对图像 1 去雾对比效果。(a)有雾图像 1;(b) Retinex 算法;(c) Gibson 算法;(d) Tarel 算法;(e) Zhang 算法;(f) He 算法;(g) IDCP 算法。

Fig.3 Image No.1 dehazing contrast effect of various algorithms. (a) Hazing image No.1. (b) Retinex algorithm. (c) Gibson algorithm. (d) Tarel algorithm. (e) Zhang algorithm. (f) He algorithm. (g) IDCP algorithm.



图 4 各种算法对图像 2 去雾对比效果。(a)有雾图像 2;(b) Retinex 算法;(c) Gibson 算法;(d) Tarel 算法;(e) Zhang 算法;(f) He 算法;(g) IDCP 算法。

Fig.4 Image No.2 dehazing contrast effect of various algorithms. (a) Hazing image No.2; (b) Retinex algorithm; (c) Gibson algorithm; (d) Tarel algorithm; (e) Zhang algorithm; (f) He algorithm; (g) IDCP algorithm.

从图 3、图 4 的对比 2 组实验结果可以看出, 本文 IDCP 算法能够有效地去除图像中的雾气, 再现了场景的对比度和颜色, 从而提高了图像的视见度, 其他算法存在颜色失真, 以及雾霾没有被去除。

3.2 客观评价标准

评价去雾图像的效果, 从原图像与恢复图像的可见边集合数目比 S :

$$S = \frac{n_r - n_0}{n_0}, \quad (10)$$

其中: n_0 和 n_r 为原图像 $L(x, y)$ 和恢复图像 $L_0(x, y)$ 中可见边的数目, 可见边的数目是通过对比度来求得。

平均梯度比 L :

$$L = \frac{\bar{g}_r}{\bar{g}_0}, \quad (11)$$

其中: $\bar{g}_r$ 为原图像的平均梯度, $\bar{g}_0$ 为恢复图像的平均梯度, 平均梯度即图像的清晰度, 反映图像对细节对比的表达能, 平均梯度比值越高则图像的清晰度越高。

如果原图像和去雾后图像直方图的形状大致相似, 则表征去雾图像的色彩还原能力较好, 可用两幅图像的直方图相似度系数 H 来测量色调还原程度:

$$H(I, I') = \frac{\sum_k (I_k - \bar{I}) \sum_k (I'_k - \bar{I}')}{\sqrt{\sum_k (I_k - \bar{I})^2 \sum_k (I'_k - \bar{I}')^2}}, \quad (12)$$

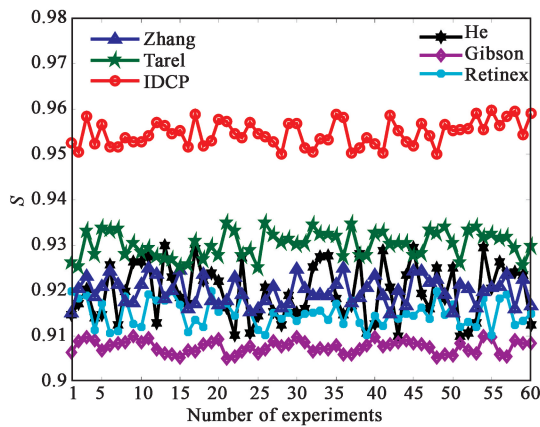
其中: k 为直方图的灰度级, $\bar{I}$ 、 $\bar{I}'$ 分别为去雾图像前 I 、去雾图像后 I' 的灰度均值, $H(I, I')$ 越大, 说明相似度越高, 色调还原程度越好。

通过 S 、 L 、 H 这 3 个评测量相乘得到综合评价指标 Q , Q 越大则表明去雾整体效果越好。经过 60 次蒙特卡罗仿真实验, 评价结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 本文 IDCP 算法的各种评价价值较好, 其中对有雾图像 1 进行去雾后的可见边集合数目比 S 为 0.95 以上, 大于其他算法, 处理后的图像边缘强度较大, 边缘数量也比较多; 平均梯度比值 L 为 0.96 以上, 远远大于其它算法处理后的图像, 这充分说明本算法对图像清晰度的提升非常明显; 直方图相似度系数 H 为 0.86 以上, 说明相似度越高, 色调还原程度越好; 同时综合评价指标 Q 值大于其他算法。同理对有雾图像 2 进行去雾后的各种评价指标也较优。Tan 得到的去雾图像都会出现对比度过高, 并且图像的边缘出现光晕现象, 各种算法对有雾图像处理时间分析如图 6 所示。

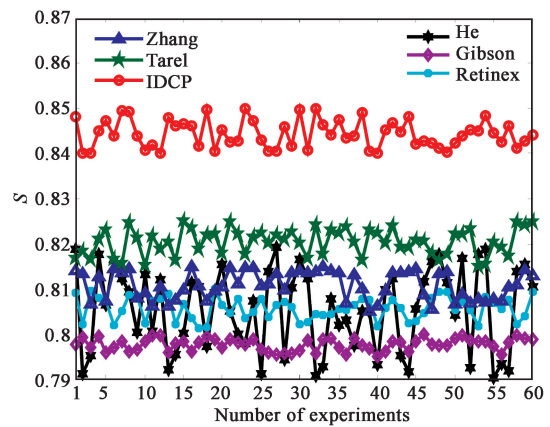
从图 6 中可以看出本文算法处理时间优于 Retinex、Gibson 和 Zhang 算法, 与 He 算法所需时间要近似, 但本文算法要略快一些。

通过以上分析可以看出, Retinex 算法能够较好处理光线不均匀地照射问题, Gibson 算法, Zhang 算法对图像具有对比度高, He 算法的去雾图像符合人类视觉, Tarel 算法在处理时间上优势, 本文算法克服了暗通道去雾算法对图像中天



(a) 图像 1 的 S 值

(a) S value of image No.1



(b) 图像 2 的 S 值

(b) S value of image No.2

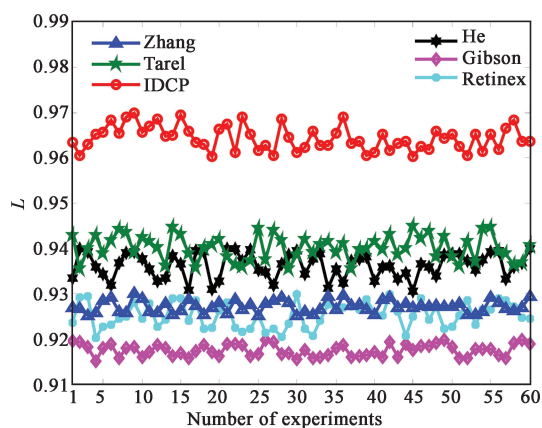
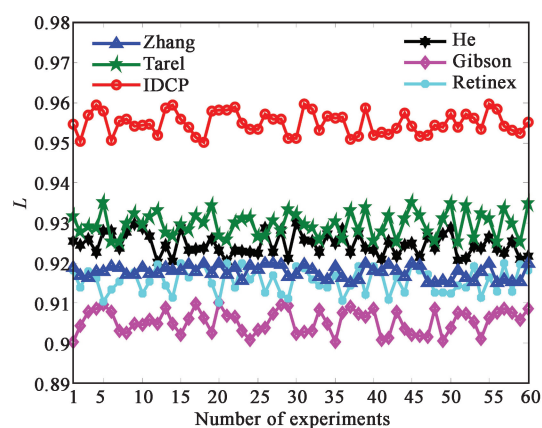
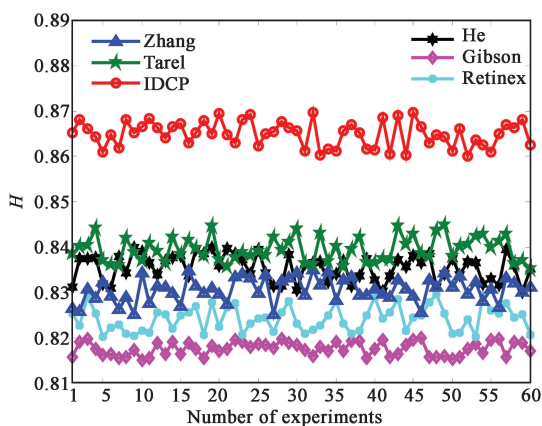
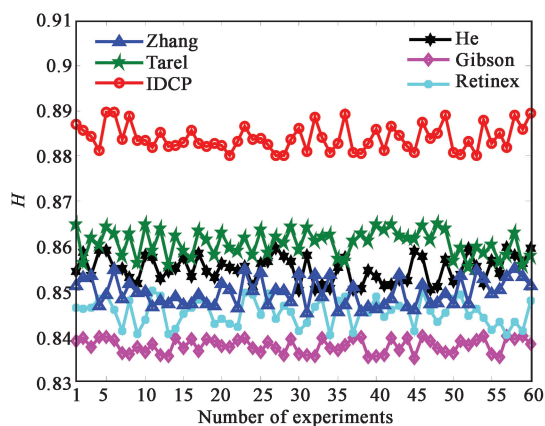
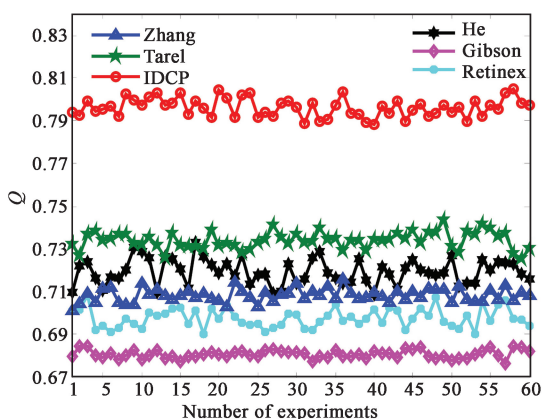
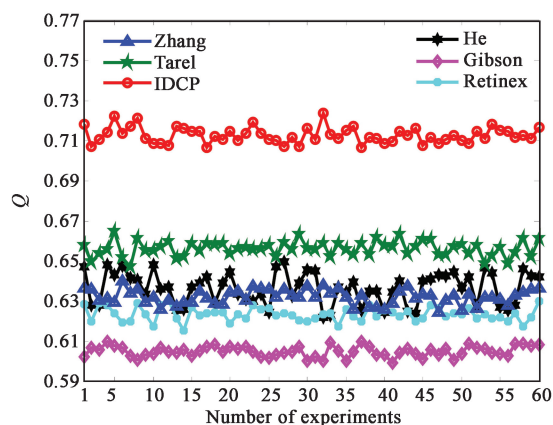
(c) 图像 1 的 L 值(c) L value of image No.1(d) 图像 2 的 L 值(d) L value of image No.2(e) 图像 1 的 H 值(e) H value of image No.1(f) 图像 2 的 H 值(f) H value of image No.2(g) 图像 1 的 Q 值(g) Q value of image No.1(h) 图像 2 的 Q 值(h) Q value of image No.2

图 5 各种算法对有雾图像处理后的评价

Fig.5 Values of various algorithms for image dehazing

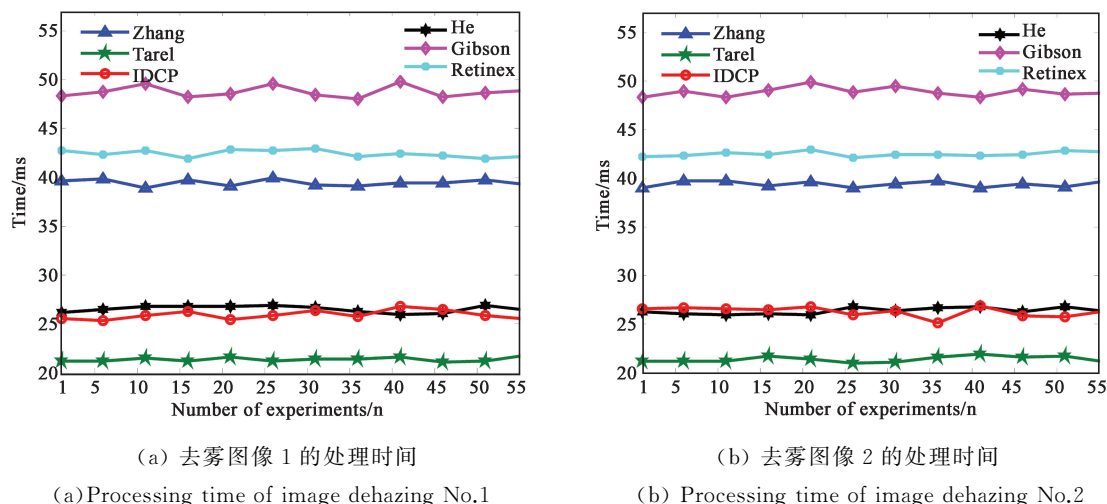


图 6 各种算法对去雾图像的处理时间

Fig.6 Processing time values of various algorithms for image dehazing

空区域处理不佳的问题,但是综合考虑本文方法具有一定的优越性。

4 结 论

本文改进暗通道算法,主要采用三角形循环

二分法计算大气光值以及自适应调节透射率。实验结果表明,本文方法不仅获得了良好的去雾效果,同时可见边集合数目比、平均梯度比值、直方图相似度系数、综合评价指标较好,为图像去雾提供了一种新的方法。

参 考 文 献:

- [1] 杨爱萍,白煌煌. 基于 Retinex 理论和暗通道先验的夜间图像去雾算法[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(4): 041002.
YANG A P, BAI H H. Nighttime image defogging based on the theory of retinex and dark channel prior [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(4): 041002. (in Chinese)
- [2] 王凯,王延杰,樊博. 基于暗通道先验的图像去雾算法改进[J]. 液晶与显示, 2016, 31(8): 840-845.
WANG K, WANG Y J, FAN B. Improved method for single image dehazing using dark channel prior [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(8): 840-845. (in Chinese)
- [3] LIU C J, CHENG I, ZHANG Y, et al. Enhancement of low visibility aerial images using histogram truncation and an explicit Retinex representation for balancing contrast and color consistency [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 128(7): 16-26.
- [4] GIBSON K B, VO D T, NGUYEN T Q. An investigation of dehazing effects on image and video coding [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012, 21(2): 662-73.
- [5] TAREL J P, HAUTIERE N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image [C]// *Procesings of the IEEE 12th International Conference on Computer Vision*. Kyoto, Japan: IEEE, 2009: 2201-2208.
- [6] 张小刚,唐美玲,陈华,等. 一种结合双区域滤波和图像融合的单幅图像去雾算法[J]. 自动化学报, 2014, 40(8): 1733-1739.
ZHANG X G, TANG M L, CHEN H, et al. A dehazing method in single image based on double-area filter and image fusion [J]. *Acta Automatic Sincia*, 2014, 40(8): 1733-1739. (in Chinese)
- [7] 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.
- [8] 陆健强,王卫星,胡子昂,等. 基于改进暗通道先验算法的农田视频实时去雾清晰化系统[J]. 农业工程学报, 2016,

- 32 (10) :143-148.
- LU J Q, WANG W X, HU Z A, *et al.* Real time defogging system used for video image of farmland based on modified dark channel prior algorithm [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32 (10) :143-148. (in Chinese)
- [9] 杨爱萍,刘华平,何宇清,等.基于暗原色融合和维纳滤波的单幅图像去雾[J].天津大学学报,2016,49(6):574-580.
- YANG A P, LIU H P, HE Y Q, *et al.* Single image dehazing based on dark channel fusion and wiener filtering [J]. *Journal of Tianjin University*, 2016, 49 (6) :574-580. (in Chinese)
- [10] 肖杰,李同亮,翟东海.基于局部维纳滤波的交通图像去雾霾算法[J].成都信息工程学院学报,2014,29(6):567-573.
- XIAO J, LI T L, ZHAI D H. The Traffic image De-haze algorithm based on locally wiener filtering [J]. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2014, 29 (6) :567-573. (in Chinese)
- [11] 方委,陈林.基于饱和度运算图像去雾算法[J].电视技术,2017,41(3):11-14.
- FANG W, CHEN L. Image defogging algorithm based on saturation operation [J]. *Video Engineering*, 2017, 41 (3):11-14. (in Chinese)

作者简介:



郭红丹(1982—),女,汉族,河南永城人,硕士,讲师,2012年于河南理工大学获得硕士学位,主要研究方向:电子信息工程技术。E-mail: guohongdan1982@foxmail.com