

# 基于图像分割的去雾算法

李林飞, 孙鑫

(西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对雾霾条件下, 所得的单幅图像出现降质现象, 因而对视觉效果要求高的图像进行复原具有必要性; 基于图像分割的去雾算法以暗通道先验模型为基础对大气光矢量  $A$  值的求取和透射率  $t(x, y)$  的处理方法实现改进; 首先对单幅图像进行阈值分割找到天空区域, 在所获取的天空区域部分结合 skyline 算法, 可以找到精确的大气光矢量  $A$  值; 进而对初始透射率  $t(x, y)$  采用改进的约束最小二乘方滤波进行优化, 得到优化透射率  $t_1(x, y)$ , 最后将所得的大气光矢量  $A$  值和优化透射率  $t_1(x, y)$  利用大气光传输物理模型复原; 改进算法的去雾结果具备保留细致的边缘细节, 同时具有高效的去除图像噪声能力; 实验结果表明, 与 he 方法相对比, 改进去雾算法的处理时间大程度缩短的同时, 图像效果得到了提升。

**关键词:** 暗通道; 阈值分割; skyline; 最小二乘方滤波; 去噪

## Rapid Defogging Algorithm Based on Image Segmentation

Li Linfei, Sun Xin

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Directed at the haze conditions, the resulting single image degradation, therefore, the images that require high visual effects need to restore. The optimized algorithm based on dark channel prior improve the way of getting the atmospheric light vector  $A$  and the transmittance  $t(x, y)$ . First using single threshold segmentation find the sky region, then combine with skyline algorithms can locate the precise atmospheric light vector  $A$ ; then adopting improved Constrained least-square filter optimize the initial transmittance  $t(x, y)$  and get optimized transmittance  $t_1(x, y)$ , and finally restore degrade image by physical model of atmospheric with the resulting atmospheric light vector  $A$  and optimal transmission  $t_1(x, y)$ . the improved defogging algorithm not only retained meticulous edge detail, but also has removed image noise efficiently. Experimental results show that compared with the he method, the improved method short defogging processing time, and improve the image effect simultaneously.

**Keywords:** dark-channel; threshold segmentation; skyline; least-square filter; defogging

## 0 引言

近年来, 许多去雾算法被提出, 去雾图像的质量也在不断地提升。基于大量的户外图像分析之后, Tan<sup>[1]</sup>发现图像在雾气状态比清晰状态之下具有更高的对比度, 因而 Tan 的主要去雾思想是对雾气图像增加尽可能大的对比度, 通过这种方式能够得到较好的去雾图像效果。然而, 真实场景的对比度是不能够完全复原的, 对雾气图像增加的对比度会使得图像出现过饱和现象并且效果不自然; Fattal<sup>[2]</sup>则假定场景表面的阴影不会影响传输介质, 由此估计得到场景反照率。该方法基于大量的统计信息并且具有好的处理效果; Kratz<sup>[3]</sup>针对单幅图像选用马尔科夫随机场, 将场景反照率和景深作为两个相互独立的统计量, 并且得到期望的最大值, 同时能够保留尽可能多的无雾图像微小细节, 但是输出图像的效果被过度增强; Jing<sup>[4]</sup>提出了一种快速去雾算法, 此种方法采用快速双边滤波算法处理大气光值  $A$ 。但是由于双边滤波算法的处理时间比中值滤波算法慢, 因而 Kratz<sup>[3]</sup>方法比采用中值滤波算法的 Tarrel<sup>[5]</sup>算法处理速度慢。通过对比大量去雾算法, He<sup>[6]</sup>得到无雾图像至

少有一个通道的像素值很低的结论, 即暗原色先验理论, 该原理适用于大多数户外图像, 但是当图像中存在与天空相似的场景时则会失效。

通过对于大量国内外去雾算法的研究, He<sup>[6]</sup>方法更具优势。但是, 由于 He<sup>[6]</sup>方法引入了拉普拉斯矩阵, 会消耗大量的处理时间。本文采用改进的 He<sup>[6]</sup>方法不仅能够提升图像质量, 也能够节约算法的处理时间。

## 1 背景

### 1.1 大气光传输物理模型

大气光传输的物理模型<sup>[7]</sup>被广泛地应用于机器视觉以及计算机图形图像处理之中, 能够采用下公式概括:

$$F(x, y) = R(x, y)t(x, y) + A(1 - t(x, y)) \quad (1)$$

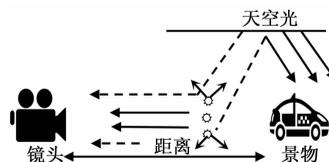


图1 环境光散射模型

式中,  $F(x, y)$  表示雾天图像在像素点  $(x, y)$  的像素值的大小;  $R(x, y)$  则表示无雾图像在  $(x, y)$  处的像素值的大小;  $t(x, y)$  表示传输介质的透射率, 即被摄像头捕获到的光线的多少;  $A$  为大气光值;  $R(x, y)t(x, y)$  表示直接衰减的部分, 也就是在介质中被辐射和衰减的部分。此外  $A$

收稿日期: 2016-01-24; 修回日期: 2016-03-25。

基金项目: 四川省教育厅重点项目(15ZA0118); 特殊环境机器人技术四川省重点实验室开放基金(13zxtk0505); 西南科技大学博士基金项目(13zx7112)。

作者简介: 李林飞(1995-), 男, 四川乐山人, 本科生, 主要从事图像处理、DSP 方向的研究。

$(1-t(x, y))$  则代表光线在大气中被散射的部分。大气传输的物理模型目标是从雾气图像中获取  $R(x, y)$ ,  $A$  和  $t(x, y)$ 。在具有  $n$  个像素点的彩色图像  $F(x, y)$  中, 含有  $3n$  个约束量以及  $4n+3$  个未知量, 这些变量的存在使得去雾操作更加具有挑战性。

在均匀的介质中, 透射率  $t(x, y)$  能够采用以下公式进行表述:

$$t(x, y) = e^{-\beta d(x, y)} \quad (2)$$

其中:  $\beta$  为大气光的散射系数, 当  $d(x, y)$  为场景深度, 该公式表示场景中的光线与距离之间的关系, 呈指数型衰减。

### 1.2 暗通道

在非天空区域, 至少存在一个通道的像素值很低并且接近于 0, 下式能够表达清晰图像中随机一点的暗通道模型:

$$R^{dark}(x, y) = \min_{z \in \Omega(x, y)} (\min_{C \in \{r, g, b\}} R^C(z)) \quad (3)$$

式中, 颜色通道  $C$  代表像素点  $(x, y)$  处的无雾图像  $R(x, y)$ ;  $\Omega(x, y)$  则表示  $(x, y)$  周围的一个小区域。无雾图像的暗通道就是对  $R(x, y)$  执行  $\min$  和  $\min$  操作。

$\min_{z \in \Omega(x, y)}$  表示对图像中的每个像素点进行最小值处理,  $\min_{C \in \{r, g, b\}}$  表示进行最小值滤波操作。

依据暗通道的定义, 假定  $R(x, y)$  是一幅无雾图像并且不存在天空区域, 则其暗通道值很低甚至接近于 0。

$$R^{dark}(x, y) \rightarrow 0 \quad (4)$$

该模型为暗通道先验模型, 其极低的像素值主要是由这三个原因所造成的: 阴影 (都市高楼大厦的遮影), 彩色目标物体的表面 (例如绿色的植物, 红色, 黄色或者蓝色的目标物体) 这些物体的暗通道值均很低。

## 2 改进的暗通道先验算法

### 2.1 阈值分割划分区域

阈值分割算法<sup>[9]</sup>的目的是将目标物体从背景中分割出来, 进而将天空与其他景物分离, 得到大气光值  $A$ 。阈值分割算法的主要步骤是分割阈值的选取, 先验知识可知, 天空部分的像素值接近于 255, 因而本文选定手动设置阈值的方式用以节约处理时间。本文选择简单阈值分割算法 (灰度级阈值分割算法, 通过阈值的设定将图像划分为背景和前景这两个部分)。该方法首先将图像转换为灰度图像, 进而依据每一级灰度出现的概率绘制直方图。设定原始图像为  $F(x, y)$ , 分割图像为  $F_1(x, y)$ ,  $T$  为选定的阈值, 基本公式能够表述为:

$$F_1(x, y) = \begin{cases} 0 & F(x, y) < T \\ 1 & F(x, y) > T \end{cases} \quad (5)$$

设定阈值为 150, 180 以及 200, 如图 2 所示, 将阈值设定为 200, 将天空区域  $S$  和原始雾天图像  $F(x, y)$  实现分离。大多数阈值分割方法自动设定阈值分割天空区域将花费算法的大部分处理时间, 例如 OTSU (大津法), 其选取阈值的方式为:

$$OTSU = \text{Max}[\omega_0(t) * (u_0(t) - u)^2 + \omega_1(t) * (u_1(t) - u)^2] \quad (6)$$



图 2 阈值分割

式中,  $t$  为阈值,  $\omega_0$  为整个图像的背景所占比值;  $u_0$  为背景的平均灰度值;  $\omega_1$  整个图像中的目标物体所占的比值;  $u_1$  为目

标物体的平均灰度值;  $u$  为整幅图像的平均像素值。

### 2.2 Skyline 算法搜索大气光值 A

采用阈值分割的方法得到雾气图像天空部分的区域  $S_t$ ; 进而采用 Skyline 算法<sup>[10]</sup>搜索全球大气光值  $A$ 。Skyline 算法的目标是寻找最优解, 本文采用 Skyline 算法寻找天空区域中像素的最大值, 并且将该值设定为  $A$ 。算法的实质是点  $E_1$  控制点  $E_2$ , 即点  $E_1$  的值在任何一个坐标维度上其值均不小于点  $E_2$ , 并且  $E_1$  至少存在某个维度上的值大于  $E_1$ 。可以采用  $E_1 = [E[1], E[2], \dots, E[n]]$  控制  $E_2 = [E[1], E[2], \dots, E[n]]$ , 当  $E[i] \geq E[j]$  时, 至少存在一个维度的值满足  $E[i] > E[j]$ 。

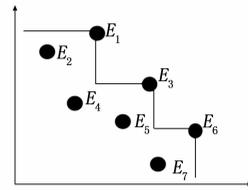


图 3 Skyline 模型

图中,  $E_2$  和  $E_4$  被  $E_1$  所控制,  $E_4$  和  $E_3$  被  $E_3$  所控制,  $E_7$  被  $E_6$  所控制。  $E_1$ ,  $E_3$  和  $E_6$  没有控制它们的点, 因此其为 Skyline 点, Skyline 点中具有所要查找的最大值点。本文采用 Skyline 算法搜索雾天图像的天空区域, 得到全球大气光值  $A$ 。

### 2.3 改进的最小二乘滤波优化透射率

由于初始透射图会出现深度断续的现象。He<sup>[6]</sup>采用软抠图的方式处理初始透射率, 但是该方法占用处理时间的 70% 以上。本文选用改进的最小二乘滤波方法<sup>[11]</sup>处理透射率, 传统的滤波方式处理后边缘细节易丢失, 并且很难获得好的去噪效果。改进的最小二乘滤波方法保边去噪的能力强。

最小二乘滤波的数学模型是基于二维离散卷积的复原滤波模型, 并且需要引入约束条件。该模型中,  $f(x, y)$  为待处理图像,  $n(x, y)$  为相关噪声, 而  $g(x, y)$  为降质图像。

$$g(x, y) = H[f(x, y)] + n(x, y) \quad (7)$$

该离散模型的二维变换如下式所示:

$$h(x, y) * f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) h(x-m, y-n) \quad (8)$$

改进的最小二乘滤波给出线性算子  $B_1$  和  $B_2$ , 采用  $\|B_1 t(x, y)\|^2 + \int \|B_2 t(x, y)\|^2$  构建透射率  $t_1(x, y)$ , 并且其最小值满足  $\|g \cdot Ht(x, y)\|^2 = \|n\|^2$ , 采用拉氏算子  $\lambda$  构建下式:

$$J(t_1(x, y)) = \|B_1 t(x, y)\|^2 + \|B_2 t(x, y)\|^2 + \lambda (\|g \cdot Ht(x, y)\|^2 \cdot \|n\|^2) \quad (9)$$

采用不同的操作数获取  $J(t_1(x, y))$  和  $t(x, y)$  的最小比例值, 如下式:

$$\frac{\partial J(t_1(x, y))}{\partial t_1(x, y)} = 2B_1^T B_1 t(x, y) + 2B_2^T B_2 t(x, y) \cdot 2\lambda H^T g + 2\lambda H^T t(x, y) = 0 \quad (10)$$

设定  $R_{1(x, y)}$  和  $R_n$  为  $t_1(x, y)$  和  $n$  的自相关矩阵, 并且能够定义为  $B_1^T B_1 = R_{1(x, y)}$ ,  $B_2^T B_2 = C^T C$

$$\partial t_1(x, y) = (H^T H + \frac{1}{\lambda} B_1^T B_1 + \frac{1}{\lambda} B_2^T B_2)^{-1} H^T g \quad (11)$$

$$t_1(x, y) = (H^T H + \frac{1}{\lambda} R_{1(x, y)}^{-1} R_n + \frac{1}{\lambda} C^T C)^{-1} H^T g \quad (12)$$

$D, A, B, E$  为对角阵, 并且定义  $H = WDW^{-1}$ ,  $R_{1(x, y)} =$

$WAW^{-1}, R_n = WBW^{-1}, C = WEW^{-1}.$

$$t_1(x, y) = D^* DW^{-1} + \frac{1}{\lambda} WA^{-1} BW^{-1} + \frac{1}{\lambda} WE^* EW^{-1} WD^* W^{-1} g \quad (13)$$

将式 (13) 变换到频域, 则可得:

$$T_1(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{\left[ |H(u, v)|^2 + \frac{1}{\lambda} [S_n(u, v)/S_{t(x, y)}(u, v) + \frac{1}{\lambda} [p(u, v)]^2 \right]} G(u, v) \quad (14)$$

初始透射图以及经过改进的最小二乘滤波处理之后的透射图如图 4 所示, 与 He<sup>[6]</sup>方法处理所得的透射图相比, 更接近于真实值。

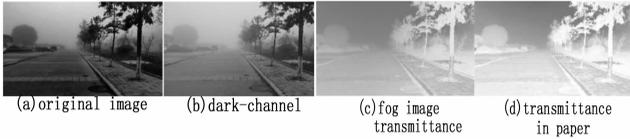


图 4 透射图

### 2.4 本章小结

本文首先采用阈值分割划分天空区域, 进而采用 Skyline 算法找到全球大气光值最大值 A; 然后采用改进的最小二乘滤波算法处理透射率  $t(x, y)$  得到  $t_1(x, y)$ , 最后采用公式 (1) 还原得到清晰无雾的图像。

## 3 实验结果

本文在 Windows XP 操作系统, Inter corei7 - 990X CPU5GHz 具有 4GB 内存的计算机上运行 Visual Studio 2012, 配置 opencv 2.4.5, 采用改进算法实现去雾的目的。改进算法不仅能够节约处理时间提高处理效率, 同时能够得到较为自然的图像处理结果。

### 3.1 与其他去雾方法对比

本文选择大量测试图像进行去雾算法的对比, 通过和 He<sup>[6]</sup>方法和 Retinex<sup>[8]</sup>方法的对比, 处理之后的图像质量得到提升并且其效果接近真实自然的无雾图像, 如图 5、图 6 所示。

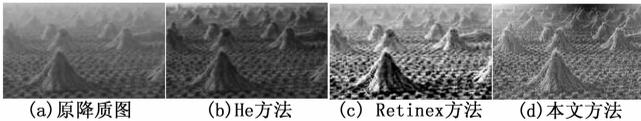


图 5 本文和其他算法降质图像

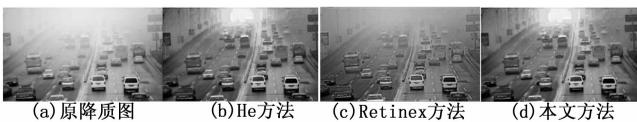


图 6 本文和其他算法降质图像

### 3.2 处理效率对比

以分辨率为  $600 * 800$  的图像为例, He<sup>[6]</sup>方法的处理速度为 19 560 ms, 其中软抠图部分的耗时为 14 083 ms, 该部分占用了大量处理时间。改进算法的处理时间为 1 117 ms, 处理速度得到显著提高。Retinex<sup>[8]</sup>的图像处理速度为 1 205 ms, 但其图像处理效果失真明显。表中给出不同分辨率图像的各算法处

理时间, 本文算法提高图像处理质量的同时缩短了处理时间。

表 1 不同算法的处理时间

Image Number	Image Size	He's/ms	Our's/ms	Ratio
(1)	220 * 300	5805	322.22	18
(2)	280 * 400	9823	549.07	17.88
(3)	300 * 500	10062	564.96	17.82
(4)	350 * 550	15102	852.26	17.75
(5)	450 * 600	16956	985.24	17.32
(6)	500 * 750	18625	1079.08	17.26
(7)	600 * 800	21013	1232.29	17.06
(8)	1200 * 9000	26058	1542.80	16.89

## 4 结论与展望

本文对大气光矢量 A 的求取方法进行改进, 已有的基于大气光物理模型的去雾方法一般取整幅图像像素最大值, 或者图像像素的最大的百分之一的平均值。He<sup>[6]</sup>采用的软抠图占用了整个算法 70% 的处理时间。本文先采用阈值分割确定天空的区域, 再利用 skyline 实现 A 值的较准确定位。进而对初始透射图利用改进的约束最小二乘方滤波实现优化。该方式兼得了传统最小二乘方滤波去噪能力强的优点, 并尽可能完整的保持了边缘细节。本文所采用的阈值分割结合 Skyline 确定 A 值, 并且采用改进的约束最小二乘方滤波优化初始透射率是本文的创新之处。与 He<sup>[6]</sup>方法相较, 本文方法的处理速度得到显著提高, 并且获得较好的去雾效果。

下一步主要将本文算法应用在视频处理中。

### 参考文献:

- [1] Tan R. Visibility in bad weather from a single image [A]. Proc of IEEE CVPR08 [C]. 2009: 1-8.
- [2] Fattal R. Single image de-hazing [J]. ACM Transactions on Graphics (0730-0301), 2008, 27 (3): 1-9.
- [3] Kratz L, Nishino K. Factorizing scene albedo and depth from a single foggy image [A]. Proceedings of the 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision [C]. 2009: 1701-1708.
- [4] Jing Y, Chuangbai X, Dapeng L. Physics based fast single image fog removal [A]. Proceedings of the IEEE International Conference on signal Processing [C]. 2010: 1048-1052.
- [5] Tarel J P, Hautiere N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image [A]. Proc. IEEE international conference on computer vision (ICCV) [C]. 2009: 2201-2208.
- [6] He K, et al. Single image haze removal using dark channel prior [A]. Proc. of IEEE CVPR09 [C]. 2009: 1956-1963.
- [7] 幸山, 严华, 雷印杰. 一种快速暗通道去雾算法 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (12): 4141-4143.
- [8] 石丹, 李庆武, 范新南, 等. 基于 Courourlet 变换和多尺度 Retinex 的水下图像增强算法 [J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47 (4): 15-18.
- [9] 范新南, 郭建甲. 一种新的自适应工程图像分割算法 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (3): 395-397.
- [10] 朱琳, 关倍红, 周永康. Skyline 计算研究综述 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (6): 160-165.
- [11] 阎雪飞, 许廷发, 白廷柱. 变参式正则化图像复原算法 [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50 (5): 51-58.