

雾霾天车载辅助安全系统图像增强方法的研究

李雅梅 任婷婷*

辽宁工程技术大学电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125100

摘要 为解决雾霾天气车载辅助安全系统中图像传感器所采集到的图像对比度低,颜色失真等问题,提出了基于改进的暗通道先验理论的图像增强方案。采用等间隔取样、去除亮度突变区域等方法,对图像大气光强值的估计进行改进,并通过分区域的方法优化透射率的计算。实验表明,该算法在实时性、颜色保真度、图像对比度等方面均优于其他算法。

关键词 图像处理; 图像增强; 雾霾; 暗通道; 等间隔区域; 分区域

中图分类号 TP391

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP53.041003

Image Enhancement Method Based on Car Secondary Safety System in Smog Days

Li Yamei Ren Tingting

Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125100, China

Abstract In order to solve the problems that fog haze weather vehicle auxiliary safety system image sensor has low contrast and color distortion, an image enhancement method is proposed based on the improved dark channel prior theory. The image atmosphere intensity value estimation method is improved using interval sampling, removing brightness mutations area. And the transmittance calculating is optimized through region separating. Experimental results show that the proposed algorithm has better performance than other algorithms in real-time, color fidelity and picture contrast ratio.

Key words image processing; image enhancement; smog; dark channel; interval area; regional block

OCIS codes 100.2000; 100.2980; 100.3010

1 引言

雾霾天空气中含有大量半径较大的水滴和气溶胶,其对光的散射作用会造成车载辅助安全系统图像传感器采集到的图像清晰度下降,降低车辆安全保障系数^[1-2]。目前使用较多的图像增强方法,如直方图均衡化^[3]、Retinex^[4]及其改进方案^[5]等,普遍存在复杂度高的问题,不能满足汽车辅助安全系统较高实时性要求^[6]。孙小明等^[7]提出了改进的暗通道先验算法可提高处理速度,但当图像中存在高亮区域(如车灯处)时,易造成透射率误估计导致颜色失真^[8]。关于相应改进方案主要针对大气光值估计和透射率优化两个方向。陈莹等^[9]提出对大气光估计值方案改进。王峰^[10]提出基于双边滤波的针对透射率的改进方案。陈龙^[11]提出基于引导滤波对透射率改进。然而以上算法并不能在实时性和颜色保真方面得到兼顾。

2 改进的暗通道先验理论的图像增强方法

2.1 暗通道先验去雾算法

暗通道先验去雾算法将大气散射物理模型与暗通道先验理论结合来达到去雾目的,其中大气物理散射模型^[12]为

$$I(x, y) = J(x, y) \cdot t(x, y) + A[1 - t(x, y)], \quad (1)$$

收稿日期: 2015-10-10; 收到修改稿日期: 2015-10-29; 网络出版日期: 2016-03-28

基金项目: 国家自然科学基金(51274118)、辽宁省科技攻关项目(2011229011)

作者简介: 李雅梅(1966-),女,硕士,教授,主要从事数字信号处理等方面的研究。E-mail: liyamei518@163.com

*通信联系人。E-mail: 349361736@qq.com

式中 $I(x,y)$ 是有雾图像, $J(x,y)$ 是无雾图像, $t(x,y)$ 是透射率, A 是大气光强值, 即整幅图像光亮度估计。

暗通道先验理论^[13]是指, 基于大量户外无雾图像的统计规律, 大部分非天空的局部区域里, 总有一些特殊像素至少一个颜色通道暗原色值很小, 甚至趋近于零, 通过对每个像素块 R 、 G 和 B 三个颜色通道求取最小值即可得到 $J_{\text{dark}}(x,y)$, 其中 J_{dark} 即图像 J 的强度值接近于 0 的暗原色, $\omega(x,y)$ 是以像素点 (x,y) 为中心的邻域。在晴朗天气下, $J_{\text{dark}}(x,y) \rightarrow 0$, 但在雾霾天气下, 由于空气中尘埃与水汽等微粒散射作用使得 $J_{\text{dark}}(x,y) > 0$, 其增加的亮度值可以近似为雾的浓度。对(1)式进行最小值运算得:

$$J_{\text{dark}}(x,y) = \min_{c \in \{r,g,b\}} \left\{ \min_{y \in \omega(x,y)} \{ [J_c(x,y)] \} \right\} \rightarrow 0, \quad (2)$$

$$\min_{c \in \{r,g,b\}} \left[\min_{(x,y) \in \omega(x,y)} I_c(x,y) \right] = \min_{c \in \{r,g,b\}} \left\{ \min_{y \in \omega(x,y)} \{ [J_c(x,y) \cdot t(x,y)] + A[1 - t(x,y)] \} \right\}, \quad (3)$$

将(2)式代入(3)式可以得出透射率:

$$t(x,y) = 1 - \frac{\min_{(x,y) \in \omega(x,y)} \left[\min_{c \in \{r,g,b\}} I_c(x,y) \right]}{A}, \quad (4)$$

为使图像显得更加真实, 引入常量系数 $\varepsilon = 0.95$, 得透射率估计式:

$$t'(x,y) = 1 - \varepsilon \frac{\min_{y \in \omega(x,y)} \left[\min_{c \in \{r,g,b\}} I_c(x,y) \right]}{A}, \quad (5)$$

将(5)式代入(1)式得到处理后的无雾图像为

$$J(x,y) = \frac{I(x,y) - [1 - t'(x,y)]A}{t'(x,y)}. \quad (6)$$

2.2 暗通道先验去雾算法改进方案

暗通道去雾算法应用于车载辅助安全系统主要考虑两方面问题: 实时性和颜色保真度。采用 2.1 节中的传统暗通道先验去雾算法复杂度高, 当图像中存在汽车远光灯造成的高亮度区域或出现白色车辆等高亮物体时易产生颜色失真, 且最小值滤波造成边缘处具有 Halo 效应。为解决感兴趣区域中存在颜色较浅的物体(如白色车辆)时对暗通道先验去雾算法造成的误估计, 运用等间隔取样, 除去突变区间后求均值的思想改进大气光强值 A 的估计方法, 以减小颜色失真。采用分区域计算透射率的方法可以改进中值滤波代替最小值滤波时产生的黑斑效应, 并在降低算法复杂度的同时保证图像质量。

2.3 改进的大气光强值 A 估计方法

传统暗通道先验去雾算法在假设雾霾浓度与光照都均匀的条件下, 单纯选取暗通道最大值的 0.1% 的点作为大气光强值 A 的估计, 一旦光照不均匀, 图像中将存在局部高亮区域, 若这 0.1% 的点恰好选在高亮区域时(如受前方车辆远光灯光照影响区域), 此时得到的 A 值不能反映实际雾霾浓度值, 造成图像失真。本文算法利用等间隔采样对其进行改进: 首先等列间隔选取 $(n+1)/2$ 个点, 从图像的第一行到采样点所在的最低行进行扫描, 然后求取与该采样点同列的扫描行间的像素灰度的均值 $\bar{A}_j, \dots, \bar{A}_{j+(n-1)/2}$, 再在 $\bar{A}_j, \dots, \bar{A}_{j+(n-1)/2}$ 之间求取差值绝对值 T_j , 当 T_j 值大于绝对差值阈值 σ 时, 舍去较大值, 即 $T_j - T_{j+1} > \sigma$ 或 $T_j - T_{j+1} < -\sigma$ 时舍去 T_j 或 T_{j+1} , 去掉突变区间 $[-\sigma, \sigma]$ 内的 \bar{A}_j 后再求均值得到大气光强值 A 的均值估计 \bar{A} 。

图 1 为图像 traffic1 采用改进大气光强值估计前后的图像增强结果对比(大气光强值估计 $\bar{A} = 166$), 图 1 (a) 是原始图像 traffic1, 图 1 (b)、(c) 分别为改进大气光强值估计前、后的增强结果。可以看出图 1 (b) 中红



图 1 图像增强结果对比。(a) 图像 traffic1; (b) 传统方法估计大气光强值; (c) 本文方法估计大气光强值

Fig.1 Contrast of image enhancement results. (a) Image traffic1; (b) atmospheric light intensity value with traditional method; (c) atmospheric light intensity value with proposed method

色边框区域出现明显光晕,图1(c)较图1(b)在保证无雾效果的前提下没有光晕,且颜色保真度更好。

2.4 透射率估计方法改进

双边滤波代替最小值滤波无需使用软抠图^[13]细化透射率,但当图像中存在暗通道值很小的像素点 (x,y) 以及其邻域 $\omega(x,y)$ 内一半以上像素暗通道值较大时,对 $\omega(x,y)$ 进行中值滤波会增大 (x,y) 与 $I_{\text{dark}_m}(x,y)$ 之间的差值,使得透射率偏小,导致 $J(x,y)$ 偏小,造成失真。针对这一问题,本文算法采用分区域计算透射率的方法进行改进:在暗区域,暗通道值直接取该像素点三个通道的最小值,否则,求取邻域 $\omega(x,y)$ 内像素三个通道像素最小值的中值。

若 (x,y) 处像素点满足 $J_{\text{dark}_m}(x,y) > K \cdot \min_{c \in (r,g,b)} J_c(x,y)$ (其中 K 为常数,取 $K=1$)则该区域为暗区域,

$$J'_{\text{dark}_m}(x,y) = \begin{cases} \text{med}_{(x,y) \in \omega(x,y)} \left[\min_{c \in (r,g,b)} J_c(x,y) \right], & J_{\text{dark}_m}(x,y) \leq K \cdot \min_{c \in (r,g,b)} J_c(x,y) \\ \min_{c \in (r,g,b)} J_c(x,y), & J_{\text{dark}_m}(x,y) > K \cdot \min_{c \in (r,g,b)} J_c(x,y) \end{cases}, \quad (7)$$

进而透射率估算公式、图像复原公式分别表示为

$$t'_m(x,y) = 1 - \omega \frac{\text{Org}'_{\text{dark}_m}(x,y)}{\bar{A}}, \quad (8)$$

$$J_{m1}(x,y) = \frac{\text{Org}(x,y) - [1 - t'_m(x,y)] \cdot \bar{A}}{\max[t'_m(x,y), \varepsilon]}, \quad (9)$$

式中设置 ε 以防分母为零,造成失真。 $\text{Org}(x,y)$ 为输入图像的暗通道值, $\text{Org}'_{\text{dark}_m}(x,y)$ 为分区域计算的暗通道值

$$\text{Org}'_{\text{dark}_m}(x,y) = \begin{cases} \text{med}_{(x,y) \in \omega(x,y)} \left[\min_{c \in (r,g,b)} \text{Org}_c(x,y) \right], & \text{Org}_{\text{dark}_m}(x,y) \leq K \cdot \min_{c \in (r,g,b)} \text{Org}_c(x,y) \\ \min_{c \in (r,g,b)} \text{Org}_c(x,y), & \text{Org}_{\text{dark}_m}(x,y) > K \cdot \min_{c \in (r,g,b)} \text{Org}_c(x,y) \end{cases}. \quad (10)$$

图2为 traffic2(含有车灯等高亮区域图像)分区域计算透射率前后图像增强效果对比图,图2(a)为原始图像 traffic2,图2(b)为未经过分区域计算透射率的处理结果,图2(c)为经过分区域计算透射率的处理结果。从图2(b)中可以看出,当图像中存在车灯等高亮区域时,图像未经过分区域处理,高亮区域会造成透射率 $t(x)$ 误估计,使其值接近于0,导致过去雾现象,处理得到的图像会出现大面积光晕,造成图像失真。由图2(c)可知,采用分区域计算透射率的方法,既保证了增强效果又有效避免了颜色失真。



图2 图像增强结果对比。(a) 图像 traffic2; (b) 传统方法计算透射率; (c) 本文方法计算透射率
Fig.2 Contrast of image enhancement results. (a) Image traffic2; (b) transmittance with traditional method; (c) transmittance with proposed method

3 实验结果及仿真

在 Intel(R)Pentium(R)CPU P6200 @ 2.13GHz 2.13GHz, 安装 32 位 Windows7 操作系统的 PC 机上实验,开发平台为 Matlab7.9.0。图像数据通过网络搜索和公开数据库等方式得到。在处理 traffic1, traffic2, traffic3 中,大气光强值估计 \bar{A} 分别为 166, 175, 159。

图3为各改进的暗通道先验去雾算法图像保真度对比,其中图3(a)是实验图像 traffic1 及其直方图,图3(b)~(e)分别是经过 He 算法、基于引导滤波改进算法、基于双边滤波改进算法、本文算法处理后的结果及其灰度直方图。采用 He 算法处理后的图像灰度范围虽然得到一定程度上的均衡,但灰度极值出现明显偏移,结果图像交通灯上方天空处和白色车辆车灯处失真。基于引导滤波的改进算法处理后图像虽然没有光晕,但其直方图向左偏移,整体亮度大幅降低,颜色失真。基于双边滤波的改进算法对景物边缘保持上具有一定优势,但也存在一定程度地失真。利用本文算法处理后的图像在去雾的基础上对于颜色的保真有明显改进。

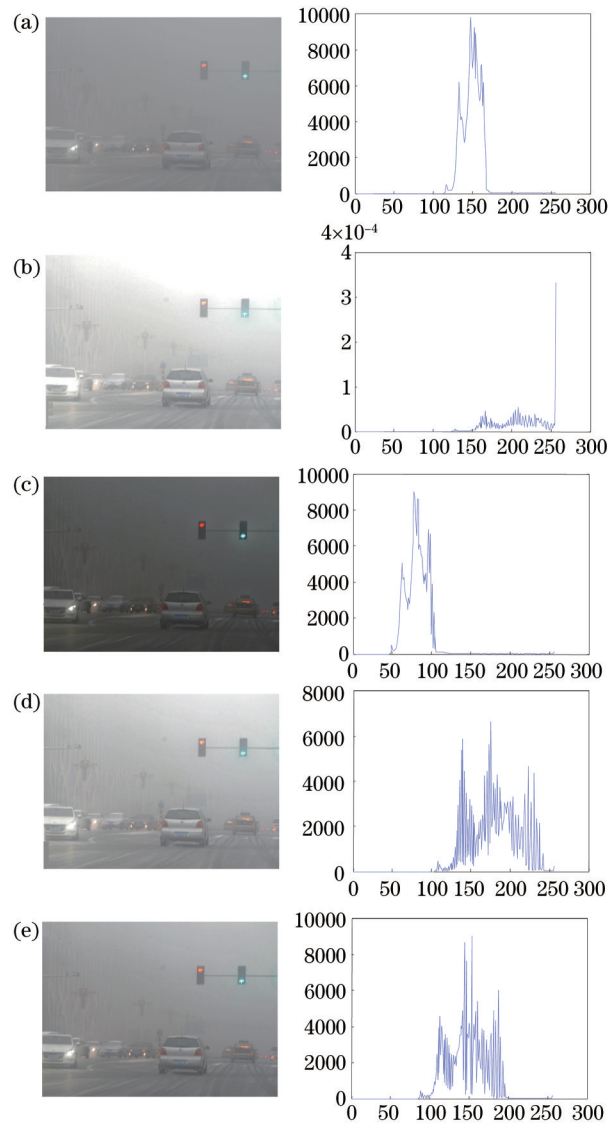


图3 各增强算法处理后保真度对比

Fig.3 Comparison of fidelity processing by different enhancement algorithms

图4为 traffic3 经过改进的双边滤波算法和本文算法所得到的暗通道图像和透射率图像对比,图4(a)为原图 traffic3,图4(b)~(d)分别为利用改进的双边滤波算法得到的暗通道图像和透射率图像,图4(e)~(g)分别为利用本文算法得到的暗通道图像和透射率图像。traffic3 中含有白色车辆和较亮车灯等高亮区域,导致

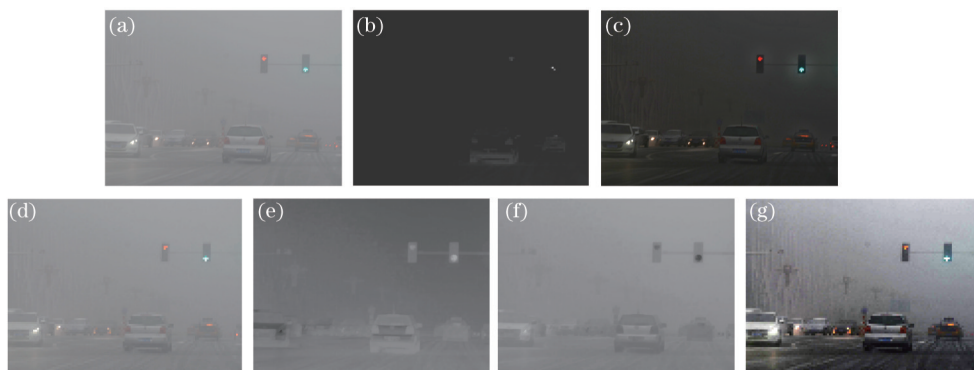


图4 双边滤波改进算法和本文算法处理后暗通道图像和透射率图像对比

Fig.4 Contrast of dark channel and transmittance images processing by improved bilateral filtering algorithm and proposed algorithm

利用改进的双边滤波算法估计的透射率偏小,造成颜色失真,而本文算法对于此类图像的处理有较好的保真度。

表1 各算法在 traffic1~ traffic3 上运算时间和方差的对比

Table 1 Contrast of computing time and variance of traffic1 ~ traffic3 operated by different algorithms

	Time /s				Variance			
	He algorithm	improved guided filtering	improved bilateral filtering	proposed algorithm	He algorithm	improved guided filtering	improved bilateral filtering	proposed algorithm
Traffic1	50.97	42.37	47.26	45.31	30.672	25.066	28.724	29.879
Traffic2	43.82	35.91	40.76	38.54	36.442	32.547	34.270	37.621
Traffic3	49.16	41.22	46.03	44.03	32.937	27.023	29.086	31.857

表1为He算法和本文算法在 traffic1~ traffic3 上运算时间和方差的对比。图像的清晰度计算^[14]为

$$C = \sum_{n=0}^{255} n^2 \left[\sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} \hat{p}(i,j) \right], \quad (11)$$

式中 $n=|i-j|$, \hat{p} 为灰度共生矩阵, C 值越大,灰度层次越多,图像越清晰,色彩越丰富。原始图像 traffic1~traffic3 的清晰度值分别为 23.71,30.08,25.62。从表1可以看出,本文运算时间要远低于He算法和双边滤波改进算法,略高于引导滤波改进算法,但图像清晰度要远高于双边滤波、引导滤波改进算法,综合考虑本文算法在降低处理时间基础上保证了图像清晰度。

图3为各算法分别在 traffic1~ traffic3(分别代表含有白色车辆图像,含有大量汽车尾灯亮点图像,含有车灯引起的大量高亮区域图像)上处理的对比结果。可以看出经He算法处理后的图像出现严重光晕,引导滤波算法在He算法基础上有所改善,双边滤波算法处理后图像严重偏暗,而本文算法在颜色保真程度上有较大改进。



图5 各算法分别处理 traffic1~traffic3 的对比结果

Fig.5 Comparison results of traffic1~traffic3 processing respectively by different algorithms

4 结 论

通过等间隔取样求均值去除图像高亮区域来改进He算法中大气光强值的估计方案,同时用分区域的方法改进透射率的估计,有效地降低了由于大气光强值误估计造成的颜色失真,同时提高了图像处理速率,但存在部分边缘外扩现象,如何优化将是后续工作重点。

参 考 文 献

- 1 Li Yanxia. Smog conditions decreased quality image sharpening algorithm[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2014. 李艳霞. 雾霾条件下降质图像清晰化算法研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2014.
- 2 Nie Chao. Research on efficient algorithm for image enhancement based on histogram[D]. Hangzhou: Electronic University of Science and Technology of Hangzhou, 2014.

- 裴超. 基于直方图的高效图像增强算法研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.
- 3 Li Yi, Zhang Yunfeng, Zhang Qiang, *et al.*. Infrared image contrast enhancement based on haze remove method[J]. Chinese J Lasers, 2015, 42(1): 0113004.
- 李毅, 张云峰, 张强, 等. 基于去雾模型的红外图像对比度增强[J]. 中国激光, 2015, 42(1): 0113004.
- 4 Zhao Wenda, Zhao Jian, Zhao Fan, *et al.*. Variable infrared image enhancement of bimodal Gaussian function specification [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(3): 0309002.
- 赵文达, 赵建, 赵凡, 等. 双峰高斯函数规定化的变分红外图像增强[J]. 中国激光, 2014, 41(3): 0309002.
- 5 Chen Zemao. Vehicle safety and driver assistance system based on omni vision platform design and implementation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- 陈泽茂. 基于全景视觉的汽车安全驾驶辅助系统的平台设计与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- 6 Wang Jinyan. Algorithm based on improved dark channel prior to fog from surveillance video[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- 王金艳. 基于改进的暗通道先验理论的监控视频去雾算法[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- 7 Sun Xiaoming, Sun Junxi, Zhao Lirong, *et al.*. Dark channel prior improved algorithm for a single image to fog[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(3): 381-385.
- 孙小明, 孙俊喜, 赵立荣, 等. 暗通道先验单幅图像去雾改进算法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(3): 381-385.
- 8 Xue Yungang. Prior to dark color mist algorithm optimization and parallelization[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2012.
- 薛云刚. 暗通道先验去雾算法的优化及其并行化[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.
- 9 Chen Ying, Zhu Ming, Li Zhaoze. Remote sensing digital image enhancement based on gaussian mixture modeling[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(12): 1209002.
- 陈莹, 朱明, 李兆泽. 基于高斯混合模型的遥感数字图像增强[J]. 中国激光, 2014, 41(12): 1209002.
- 10 Wang Feng. Image-guided filter in a single application to image restoration[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- 王峰. 图像引导滤波器在单幅图像复原中的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- 11 Chen Long. Research on key technology of image processing in visual[D]. Xi'an: Xidian University, 2013.
- 陈龙. 辅助视觉中的图像处理关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- 12 Ji Xiaoqiang. Study on clarity and recovery image to fog[D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics and Physics), 2012.
- 嵇晓强. 图像快速去雾与清晰度恢复技术研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2012.
- 13 Chu Ding. Haze image recovery based on dark channel prior[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- 储鼎. 基于暗通道先验条件复原雾化影像[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- 14 Feng Weiyi, Chen Qian, He Weiji, *et al.*. A defogging method based on hyperspectral unmixing[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(1): 0110002.
- 冯维一, 陈钱, 何伟基, 等. 基于高光谱图像混合像元分解技术的去雾方法[J]. 光学学报, 2015, 35(1): 0110002.

栏目编辑: 苏岑