

文章编号: 2095-2163(2020)07-0093-04

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

一种火灾图像自适应强光抑制算法

官洪运, 王亚青, 缪新苗, 井倩倩, 张抒艺

(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

摘要: 在火灾图像的研究过程中,光照强弱常常会影响火灾图像的判别结果。当光照强烈时,图像受到强光干扰,甚至过曝光,会对后续的图像处理产生较大的影响。本文提出一种火灾图像自适应强光抑制算法,对 HSV 色彩空间中的 V 进行处理,通过中值滤波提取入射光分量,而后对其进行伽马自适应亮度校正,调整图像的亮度和对比度;MSRCR 算法可对图像中受干扰区域进行颜色恢复,减少因过度曝光造成的图像颜色失真,使图像有更好的视觉效果。实验结果表明,本文算法可以有效提高受到强光干扰的图像的质量。

关键词: 图像处理; 强光抑制; MSRCR 算法; 自适应

An adaptive bright light suppression algorithm for fire image

GUAN Hongyun, WANG Yaqing, MIAO Xinmiao, JING Qianqian, ZHANG Shuyi

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

[Abstract] In the research process of fire image, light intensity often affects the discriminant result of fire images. When the light is strong and the image is interfered by strong light or even overexposure, and it will have a great impact on the subsequent image processing. The paper proposes an adaptive strong light suppression algorithm for fire image, which processes the V in HSV color space, extracts the incident light component through median filtering, and then the gamma adaptive brightness correction is carried out to adjust the brightness and contrast of the image. Then the MSRCR algorithm is used to restore the color of the disturbed area of the image to reduce the color distortion caused by overexposure, so that the image can have a better visual effect. Experimental results show that the algorithm in this paper can effectively improve the image quality under strong light interference.

[Key words] Image Processing; Glare suppression; MSRCR algorithm; Adaptive

0 引言

当场景中光照强烈,超过了图像能够正常成像的光范围时,图像就会受到强光干扰,甚至出现过曝光现象。在计算机图形学中,动态范围用于描述最亮和最暗可测量光强度之间的比率,表征一张图片中最亮和最暗之间的范围。动态范围较大的图片,能更充足的表达亮度信息,也能使图像明暗和颜色对比更鲜明。

但是在现实生活中,例如阳光直射的室外环境,可能具有很高的动态范围。在这样的场景中,很难使所有东西都曝光良好,所以图像受到强光干扰几乎是不可避免的。

强光干扰对读取图像信息的影响很大,如果光照过强,则会影响图像信息的读取,即强烈的光照遮盖了图像中的信息,降低了人眼的分辨能力和获取图像信息的能力。强光干扰图像和普通噪声对图像造成的失真是不同的,噪声一般呈均匀分布,而强光

干扰出现在图像的某一区域。

在火灾图像处理中,特别是对火灾烟雾检测过程中,由于烟雾颜色特征单一,在强光照射甚至过曝光情况下很容易引起火情误报和错报。因此,降低强光在火灾图像检测过程中造成的干扰,提高火情判断的准确率,在图像型火灾的研究过程及工程应用中都具有非常重要的意义。

1 图像增强算法的研究

在图像处理过程中,图像增强是为了加强图像整体或者局部的特征,达到改善图像视觉效果的目的。常用到的方法有直方图均衡化、图像融合、伽马校正和 Retinex 增强算法等。

1.1 直方图均衡化

直方图均衡化是直接对图像的像素进行操作,来改变图像中的灰度分布^[1]。采用直方图均衡化,可以使原始图像的灰度值均匀分布,这样图像就会有比较大的动态范围和较好的对比度,以达到图像

作者简介: 官洪运(1960-),男,学士,教授,硕士生导师,主要研究方向:图像通信与信息处理;王亚青(1993-),女,硕士研究生,主要研究方向:火灾图像处理;缪新苗(1996-),女,硕士研究生,主要研究方向:计算机视觉;井倩倩(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向:图像处理及计算机视觉;张抒艺(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统、新能源汽车电池管理。

通讯作者: 官洪运 Email: hyguan@dhu.edu.cn

收稿日期: 2020-04-13

增强的效果。

直方图均衡化适用于一幅图像整体偏亮或偏暗的情况,是一种对图像像素进行全局处理的方式。这种方法对图像处理时,也会同时增强干扰信号对图像的影响效果,均衡化后的图像,灰度级会减少,这意味着图像中的某些细节信息也会丢失。

1.2 图像融合

图像融合是指从多个图像中提取目标特征,将这些特征再重新合成一幅新的图像^[2]。用于合成通常具有时空上的关联性或者信息上的互补性的几幅图片,这样合成后的图像会更好的表达场景信息,更有利于后续的认识和跟踪。

图像融合从低到高可分为像素级、特征级、决策级3个层次。像素级是最基本的融合,融合准确率高,而且融合后的图像能够体现更多的细节信息,但因为对像素进行操作,计算机要处理的大数据量大,耗时长,容易受到噪声干扰;特征级融合主要是对图像中的某些特征进行处理,通常是人们感兴趣的区域,融合后的图像在目标识别和跟踪过程中的准确度会比原来更高,而且处理时间较像素级融合要少,但是会丢失很多细节特征;决策级融合是当中计算量最小的,但是因为该方法对特征级融合有很强的依赖性,所以融合起来不是很容易,图像也较前两种方法模糊。

1.3 伽马校正

伽马校正是一种针对影片或是摄像系统里光线的亮度或是三色刺激所进行的非线性的运算或反运算^[3]。简单来说,显示器上看到的颜色和进入传感器的初值是非线性的,这表示当以一个比率增加某个颜色分量时,并不会使显示器上的光强度对应增加相同的比例。例如,当一个颜色的绿色分量变成之前的2倍时,显示器上显示的绿光并不会变成之前的2倍。

伽马校正可由式(1)表示:

$$V_{out} = AV_{in} \quad (1)$$

其中, A 是常量,输入输出的值都为非负实数值。一般来说,在 $A = 1$ 的通常情况下,输入输出值的范围都在 $[0, 1]$ 之间。

1.4 Retinex 彩色恢复算法

E.Land 的 Retinex 理论表明物体的颜色是由物体对光线的反射能力决定的,跟反射光的强度没有关系,物体的色彩不受光照非均匀性的影响,具有色彩恒常性这一特点^[4]。Retinex 理论的物体成像如图1所示。

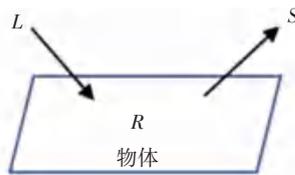


图1 Retinex 理论的物体成像

Fig. 1 Object imaging of Retinex theory

其中, L 表示入射光图像,直接决定图像中像素所能达到的动态范围; R 表示物体的反射性质图像; S 为人眼所能看到的反射光图像。Retinex 理论的基本思想就是尽可能去除或者减少入射光图像的影响,尽可能地保留反射光图像,这样可以更真实地表达物体。

2 自适应亮度校正的 MSRCR 算法

本文算法是在伽马自适应校正算法的基础上融合了 MSRCR 算法,使得受到强光干扰甚至过曝光的图像不仅能够自适应地调节图像的亮度及其对比度,还能够恢复图像的颜色信息,最终呈现出良好的视觉效果。

2.1 伽马自适应亮度校正算法

人眼对于图像的亮度变化更加敏感,所以本文采取对图像的亮度直接进行伽马自适应校正,来达到强光抑制的目的。对于一副彩色图像来说,因为 HSV 色彩空间中的色调 (Hue, H)、饱和度 (Saturation, S)、亮度 (Value, V) 三通道之间相互独立,而且对亮度 V 进行处理时不会影响图像的彩色信息,更适用于彩色图像的校正处理^[5]。公式(2)~(4)表示图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间:

$$H = \begin{cases} 0^\circ, & \text{if } V = \min(R, G, B); \\ 60^\circ * \frac{G - B}{V - \min(R, G, B)} + 0^\circ, & \text{if } V = R; \\ 60^\circ * \frac{B - R}{V - \min(R, G, B)} + 120^\circ, & \text{if } V = G; \\ 60^\circ * \frac{R - G}{V - \min(R, G, B)} + 240^\circ, & \text{if } V = B; \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{if otherwise;} \\ \frac{V - \min(R, G, B)}{V} = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{V}, & V \neq 0. \end{cases} \quad (3)$$

$$V = \max(R, G, B). \quad (4)$$

对于一幅图像 $S(x, y)$, 可由入射光图像和反射光图像共同表征,函数表达式为式(5):

$$S(x, y) = R(x, y) * L(x, y). \quad (5)$$

其中, $L(x, y)$ 表示入射光图像; $R(x, y)$ 表示物

体的反射光图像; $S(x, y)$ 表示人眼所能看到的图像。

对式(5)进行对数变换得式(6):

$$\ln[S(x, y)] = \ln[R(x, y)] + \ln[L(x, y)]. \quad (6)$$

一般的, 入射光分量整体变化平缓, 反射分量特别是在物体边缘处的分量变化激烈。从频域上看就是入射光分量体现为低频, 反射分量则体现为高频。

平滑滤波可以除去图像的高频部分, 而留下低频部分^[6]。所以图像不断平滑后, 会将高频部分的反射光分量减弱到接近零, 剩下低频部分。本文采用中值滤波, 采用 3×3 矩形邻域, 计算领域内像素点的中值。结合式(6)可知, 平滑后 $\ln[R(x, y)]$ 减弱到零, 剩下 $\ln[L(x, y)]$, 通过指数变换得光照分量 $L(x, y)$ 。

对平滑后的光照分量采用伽马函数的自适应亮度校正, 为适应不同的光照条件, 本文对图像中不同亮度值的区域进行分段的伽马矫正。设 μ 为图像的亮度, μ_L 为低亮度值, μ_H 为高亮度值, 介于 μ_L 与 μ_H 之间的为正常亮度值, 则伽马值与亮度值之间的关系可表示为式(7):

$$\gamma = \begin{cases} 1 + \frac{\mu_L - \mu}{2\mu}, & \text{if } \mu \in [0, \mu_L]; \\ 1, & \text{if } \mu \in [\mu_L, \mu_H]; \\ 1 - \frac{\mu - \mu_H}{2(255 - \mu_H)}, & \text{if } \mu \in [\mu_H, 255]. \end{cases} \quad (7)$$

校正后的光照分量 $L'(x, y)$, 如表达式(8):

$$L'(x, y) = 255 \left(\frac{S(x, y)}{255} \right)^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (8)$$

2.2 带颜色恢复的 MSR 算法

Jobson 等根据中心环绕 Retinex 理论提出了单尺度 Retinex 算法(SSR), 并且在 SSR 算法的基础上又提出了多尺度 retinex 算法(MSR)。SSR 算法能够较好地增强图像中的边缘信息; MSR 算法可以在保持图像高保真度的同时, 实现色彩增强、局部动态范围压缩等功能。但是, MSR 和 SSR 存在同样的问题, 即两者都有着明显的偏色效果。

针对上述不足, 带颜色恢复的多尺度 Retinex (Multi Scale Retinex with Color Restoration, MSRCR) 算法在 MSR 的基础上, 加入色彩恢复因子 C , 来修复颜色失真的缺陷, 因为图像局部区域的对比增强常会导致这种问题。MSRCR 算法可表示为式(9)~(11):

$$R_{MSRCR_i}(x, y) = C_i(x, y) R_{MSR_i}(x, y), \quad (9)$$

$$C_i(x, y) = f \left[\frac{I_i(x, y)}{\sum_{j=1}^N I_j(x, y)} \right], \quad (10)$$

$$f[I'_i(x, y)] = \beta \log[\alpha I'_i(x, y)] = \beta \{ \log[\alpha I'_i(x, y)] - \log[\sum_{j=1}^N I_j(x, y)] \}. \quad (11)$$

其中, $I_i(x, y)$ 表示第 i 个通道的图像; C_i 表示第 i 个通道的彩色恢复因子, 负责调节三个通道的颜色比例; $f(\cdot)$ 表示颜色空间映射函数; β 是增益函数; α 是受控制的非线性强度。MSRCR 通过调节 3 个颜色通道的比例关系来达到消除图像色彩失真的目的。但是这种方法处理图像后, 像素值会出现负值, 所以从对数域转换为实数域后, 要通过增益(Gain)、偏差(Offset)对图像进行修正。公式可由式(12)表示:

$$R_{MSRCR_i}(x, y)' = GR_{MSRCR_i}(x, y) + O \quad (12)$$

其中, G 为增益, O 为偏差, 二值可在算法实现过程中进行调节。

综上所述, 通过伽马函数的设计, 实现图像自适应亮度的校正, MSRCR 算法可减轻因强光干扰造成的图像颜色失真。自适应亮度校正的 MSRCR 算法框图如图 2。

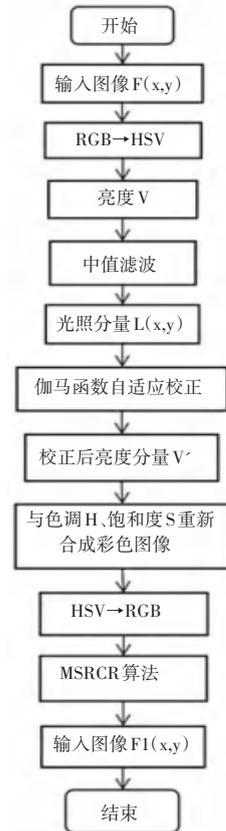


图 2 自适应亮度校正的 MSRCR 算法框图

Fig. 2 Block diagram of MSRCR algorithm for adaptive brightness correction

3 实验结果与分析

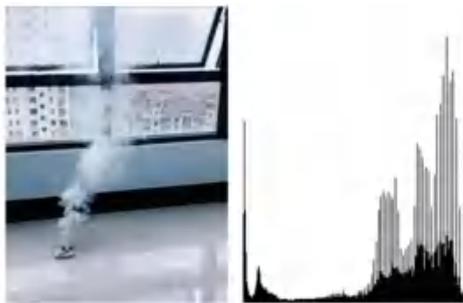
本文实验均在 CPU 为 Intel i5-1035G4, 主频为 1.10GHz, 内存为 8G 的 PC 机上运行所得。操作系统为 win10, 运行环境为 visual studio 2017, 结合开源的 openCV 库, 本文选用的图像像素为 600×800。

从理论上分析, 图像因为过度曝光的原因丢失了很多细节信息及颜色信息, 所以针对此类图片做校正恢复时, 要适当缩小图像的动态区域, 使像素更多地集中在能够呈现良好图像效果的区域。在算法实现上, 调整过度曝光图像的亮度及对比度, 尽可能恢复因过度曝光遮盖的目标区域的颜色信息。图 3 为不同算法处理后的图像及其灰度级在直方图中的分布情况, 其中图 3(a) 为原图及其直方图, 图 3(b) 为伽马校正算法及其直方图, 图 3(c) 为 MSRCR 算法及其直方图, 图 3(d) 为本文算法及其直方图。



(a) 原图及其直方图

(a) Original image and histogram



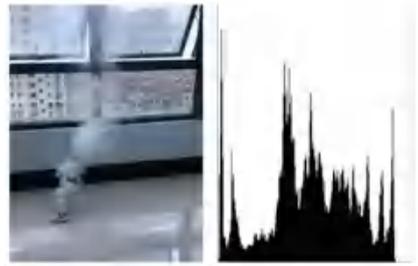
(b) 伽马校正及其直方图

(b) Gamma correction result and histogram



(c) MSRCR 算法及其直方图

(c) MSRCR algorithm result and histogram



(d) 本文算法及其直方图

(d) The result of proposed algorithm and histogram

图 3 不同算法处理后的图像及其直方图

Fig. 3 The image processed by different algorithms and its histogram

由图 3 可以得出以下结论:

(1) 原图 3(a) 由于强光照射造成过度曝光, 使得图像中的烟雾区域特别是上半部分的烟雾区域不清晰, 与背景强光融为一体, 且边沿轮廓不清晰; 在直方图中, 灰度级大都集中在高像素区域;

(2) 伽马校正图 3(b) 能够在一定程度上提高图像的对比度, 但是像素均值较高, 图像仍然偏亮;

(3) MSRCR 算法图 3(c) 虽然一定程度上恢复了图像的颜色, 而且像素较均匀地分布在中间区域, 但是两端像素缺失, 图像轮廓不清晰;

(4) 本文算法图 3(d) 既很好地校正了图像的亮度 and 对比度, 又恢复了图像中强光干扰区域的颜色信息, 图像中的轮廓也更加清晰, 提高了受强光干扰图像的质量。

4 结束语

针对受到强光干扰的图像, 本文提出了一种基于伽马自适应亮度校正的 MSRCR 算法。通过对图像进行伽马自适应亮度校正, 来调整图像的对比度和亮度, 再通过 MSRCR 算法对图像中受到强光干扰的区域进行颜色恢复。该算法融合了伽马校正及 MSRCR 算法的优点, 较好地恢复图像中因强光干扰甚至过度曝光而丢失的信息, 呈现了较好的视觉效果, 对后续火灾图像处理过程中的图像特征识别、分割、跟踪具有重要意义。

参考文献

- [1] 胡学龙. 数字图像处理[M]. 电子工业出版社, 2014.
- [2] 朱炼, 孙枫, 夏芳莉等. 图像融合研究综述[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(2): 14-18.
- [3] <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/gamma-correction.htm>
- [4] Edwin H. Land, John J. McCann. Lightness and Retinex Theory[J]. The Optical Society of America, 1971.
- [5] 刘志成, 王殿伟, 刘颖, 等. 基于二维伽马函数的光照不均匀图像自适应校正算法[J]. 北京理工大学学报, 2016, 36(2): 191-196.
- [6] 李镔, 蔡利栋. 一种基于光照分量校正的图像补偿方法[C]// 第五届图像图形技术与应用学术会议.