

文章编号: 2095-2163(2024)03-0017-04

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

# 基于改进 CLAHE 算法的夜间道路视频增强

侯文敏

(西安石油大学 计算机学院, 西安 710065)

**摘要:** 由于晚上光线微弱、可见度低等因素,导致夜间监控拍摄的视频亮度低且模糊,进而影响视频质量。本文将拍摄的视频流按帧率解析成照片后,对照片进行增强,再将增强后的照片逐帧合成视频。首先对解析的帧使用小波阈值进行去噪,然后使用本文提出的基于改进的 CLAHE 算法对去噪后的图像进行增强,并与其他几种常用的图像增强算法进行对比,最后对增强后的图像进行主、客观等分析。实验结果表明,本文提出的算法可以有效解决夜间道路视频亮度低、对比度低、细节模糊等问题,增强了夜间道路视频的整体效果。

**关键词:** 视频增强; 改进 CLAHE 算法; Gamma 校正

## Night road video enhancement based on improved CLAHE algorithm

HOU Wenmin

(School of Computer Science, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Due to the weak light and low visibility at night, the video captured by night surveillance is low and blurred, which affects the video quality. In this paper, after the video stream is parsed into photos according to frame rate, the photos are enhanced, and then the enhanced photos are synthesized into video frame by frame. Firstly, the wavelet threshold is used to denoise the parsed frame, then the improved CLAHE algorithm proposed in this paper is used to enhance the denoised image, and compared with several other commonly used image enhancement algorithms. Finally, the enhanced image is analyzed subjectively and objectively. The experimental results show that the algorithm proposed in this paper can effectively solve the problems of low brightness, low contrast and blurred details of the night road video, and enhance the overall effect of the night road video.

**Key words:** video enhancement; improved CLAHE algorithm; Gamma correction

## 0 引言

据调查,交通事故在夜间的发生概率是白天的1.5倍<sup>[1]</sup>。在视频监控领域,由于许多路段的路灯照明不足,导致监控采集的道路视频亮度较低,视频质量差,给交通管理部门很多工作带来不便。因此研究夜间道路视频增强算法很有必要。

传统的夜间图像增强方法主要分为两大类:非基于模型的方法与基于模型的方法。其中,非基于模型的方法常用的有:直方图均衡化(Histogram Equalization, HE)<sup>[2-3]</sup>、Gamma校正<sup>[4-5]</sup>、对比度受限的自适应直方图均衡(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE)<sup>[6]</sup>等。基于模型的方法常用的有单尺度 Retinex 算法(SSR)<sup>[7]</sup>、多尺度加权平均的 Retinex 算法(MSR)<sup>[8]</sup>、带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法(MSRCR)<sup>[9]</sup>等。虽然这些方法

都取得了一定的进展,但也存在一些问题。如:经过 HE 增强后的图像缺乏边缘信息,使得图像增强过度<sup>[10]</sup>。经过 Gamma 校正后的图像放大了原来的噪声,导致图像失真;经过 CLAHE 增强后的图像对于光照强度低的区域,细节增强不明显<sup>[11]</sup>。经过 Retinex 增强后的图像存在增强处理的细节,造成图像失真,且会涉及到较大计算量<sup>[12]</sup>。

针对以上问题,本文提出了一种改进的 CLAHE 算法,并将其应用到夜间道路视频增强领域。该算法可以很大程度提高视频质量,增强人眼视觉效果,为交通管理部门的工作带来便利。

## 1 夜间道路视频增强算法

本文的算法主要是在 CLAHE 算法的基础上,通过引入 Gamma 校正达到对夜间道路视频增强效果。实验的流程如图 1 所示。

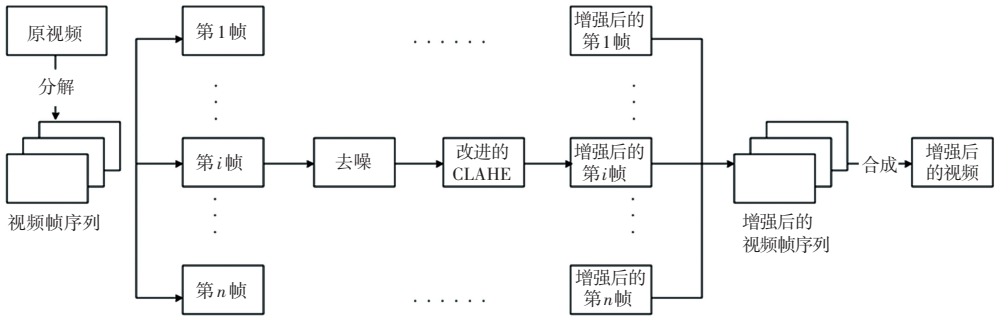


图1 夜间道路视频增强实验流程

Fig. 1 Experimental flow of road video enhancement at night

### 1.1 去噪

由于夜间道路图像含有较多的斑状噪声<sup>[13]</sup>,因此需要对视频帧序列进行去噪。目前成像后的去斑状噪声技术主要采用小波阈值方法<sup>[14]</sup>,因此本文采用小波阈值对夜间道路视频进行去噪。

小波阈值去噪的核心在于抑制信号中的冗余部分,同时保留有用信息。该方法的主要过程为:首先,选择适当的小波对信号进行多层次的小波分解;其次,对每一层分解得到的小波系数进行阈值处理,以便获得小波系数;最后,对小波系数进行小波重构,生成去噪后的信号。

### 1.2 CLAHE 算法

CLAHE 是综合了自适应直方图均衡化和限制对比度方法的图像增强算法,该方法在处理低对比度图像领域具有广泛的应用。算法主要实现步骤如下:

**步骤 1** 将原图分割成  $M * N$  个子区域,每个子区域要求大小相同,不重叠且连续。

**步骤 2** 对每个子区域计算其灰度直方图。

**步骤 3** 对每个子区域进行灰度直方图“剪切”。

(1) 确定“剪切”限制系数  $nClip$ 。该系数指限定子区域中每个灰度级所包含像素数不超过平均像素数的倍数<sup>[15]</sup>。研究中,  $avgP$  表示每个子区域内像素个数平均分配到每个灰度级的平均值。数学定义可表示为:

$$avgP = \frac{uXP * uYP}{nGray} \quad (1)$$

其中,  $nGray$  是该子区域灰度级的数量;  $uXP$  是子区域  $X$  方向的像素个数;  $uYP$  是子区域  $Y$  方向的像素个数。实际“剪切”极限值的计算见式(2):

$$cLimit = nClip * avgP \quad (2)$$

(2) 对超出该极限的像素进行“剪切”,每个灰度级均分的“剪切”像素数见式(3):

$$avgClipP = \frac{sigmaClipPixels}{nGray} \quad (3)$$

其中,  $sigmaClipPixels$  指被“剪”像素的总个数。

(3) 设子区域原灰度直方图中每个灰度级的像素个数为  $N(x)$ ,  $x = x_0, x_1, \dots, x_n$  为该子区域的所有灰度级。

(4) 计算每个子区域对比度受限直方图,并对像素点进行重新分配。对子区域对比度受限直方图计算时分为 2 类处理:一类是当  $N(x)$  大于  $cLimit$  时,将  $N(x)$  更新为  $cLimit$ ;另一类是在  $N(x)$  小于等于  $cLimit$  的基础上考虑参数  $cLimit$  的值。如果  $N(x)$  和  $avgClipP$  之和大于等于  $cLimit$  时,将  $N(x)$  更新为  $cLimit$ ;否则,将  $N(x)$  更新为  $N(x)$  和  $avgClipP$  之和。

重新分配示意如图 2 所示。“分配”像素步长  $S$  计算见式(4):

$$S = \frac{numGray}{leftP} \quad (4)$$

其中,  $leftP$  表示经过上述重新“分配”、“剪切”下来像素点的剩余个数。

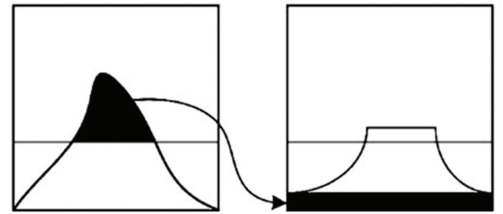


图2 像素重新分配图

Fig. 2 Pixel point redistribution map

重新分配时从最小灰度级开始按灰度级进行搜索,当遇到像素数小于“剪切”值时,为其分配一个像素,以此方式依次遍历所有的灰度级。如果在一次遍历结束后,还有剩余像素未进行分配,则用式(4)重新计算步长,并开始新一轮的遍历,直至所有的像素都被分配完成。

**步骤 4** 对步骤 3 中的每个子区域对比度受限后的灰度值进行均衡化。

**步骤5** 获取每个子区域的中心点,并将其作为样本点。

**步骤6** 根据每个子区域新的直方图分布,对图像进行灰度双线性插值,得到最终增强后的图像<sup>[16]</sup>。

### 1.3 改进的 CLAHE 算法

在夜间道路图像中由于光照不充足、灯光颜色昏暗,存在较多的阴影和无光照区域,使获取的图像可见度和对比度不高,图像质量差。为了增强夜间道路图像,本文提出改进的 CLAHE 算法。改进思路是在原算法中引入 Gamma 校正。

Gamma 校正是对图像进行非线性色调编辑的方法,通过对图像的 Gamma 曲线编辑来实现,可以将检测出来的深色和浅色部分的对比度进行增加,增大两者的比例,这就扩大了图像的动态范围,提高图像的对比度,进一步提升视觉效果<sup>[17]</sup>。Gamma 校正通过灰度值的函数变化完成,属于灰度非线性变化,又称指数函数变化<sup>[18]</sup>,如式(5)所示:

$$O = C * (I + B)^\gamma \quad (5)$$

其中, $I$ 表示输入的图像; $O$ 表示增强后的图像; $C$ 表示常量系数; $B$ 表示补偿系数; $\gamma$ 表示 Gamma 系数。

在 Gamma 校正中, $\gamma$ 的取值起到了关键的作用。当 $\gamma$ 为1时,代表线性变换,对图片的对比度没有影响;否则,代表非线性变化,会使图片的对比度发生相应的变换<sup>[19]</sup>。当 $\gamma > 1$ 时,图像的灰度值整体会被降低,导致图像变暗;当 $\gamma < 1$ 时,图像的灰度值整体会被拉升,导致图像变亮。

在夜间道路的实际图像处理中可明显看到:当 $\gamma$ 在大于1的范围内, $\gamma$ 值越大、增强后的图像越亮,但却丢失很多有用的信息,导致图像无光照区域及暗光照区域较为模糊。选取恰当的 $\gamma$ 值,可使图像暗光照细节增强,图像对比度得以提升,从而达到对夜间道路图像增强的效果。

## 2 实验

### 2.1 实验数据与环境

本文实验所采用的夜间道路视频来自于网络资源。试验环境为:Windows10 64 位操作系统;硬件配置为 Intel(R) Core(TM) i5-7300HQ CPU @ 2.50 GHz,内存 8 GB;编程语言为 Python3,用以测试算法性能。

### 2.2 实验结果与分析

本试验从夜间道路视频流中分别随机选取了第 30 帧、第 156 帧、第 235 帧、第 323 帧共 4 帧作为测试对象。为了使实验结果更具可靠性和说服力,分

别对 4 帧图像采用图像处理中常用的 HE、MSRCR、CLAHE 与本文算法进行图像增强对比,增强后的效果如图 3 所示。

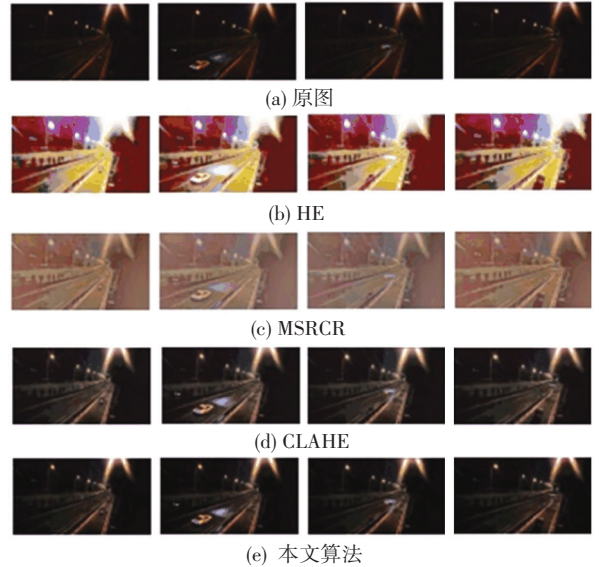


图3 夜间道路图像各算法处理结果

Fig. 3 Processing results of each algorithm of road images at night

由图3可见,原图像整体有较多的阴影,局部灯光颜色昏暗。经 HE 算法增强后的图像存在很大噪声,对比度不自然,颜色失真严重,特别是在光源附近过渡增强;经 MSRCR 算法增强后的图像亮度得到了一定的提升,但增强的颜色明显不符合人眼的视觉感知,整体过于偏白,在局部过渡区域出现了光晕,图像中原有的细节有所缺失;经 CLAHE 算法增强后的图像明显较前 2 种算法有了很大的提升,色彩处理较好,但局部对比度并不清晰,导致局部细节模糊;经本文算法增强后的图像,相较于其他算法清晰度有较大提升,图像过渡自然,图像细节具有更高的辨识度,纹理更加清晰,适用人眼的视觉感知,使夜间道路图像效果得到明显增强。

由于每个人对事物的判断和理解有所不同,对于增强处理图像的主观分析可能会有差异,因此,需要一些客观的标准对增强后的图像进行评价。本文采用图像质量评价指标中常用的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)和结构相似性指数(Structural Similarity Index, SSIM)两种方法对图像进行评价。其中,PSNR 与方差较为相似,主要通过计算原始图像和增强后图像对应像素点的差值大小,决定峰值信噪比的值。SSIM 考虑了图像的结构、亮度和对比度等方面,由于人类的视觉系统对图像中的结构信息非常敏感,因此通过结构相似性衡量图像质量可与人类视觉感知保持一致。PSNR 与

*SSIM* 客观评价指标的值越大,说明图像的处理效果越好<sup>[20]</sup>。经 HE、MSRCR、CLAHE、本文算法增强后图像的 *PSNR*、*SSIM* 结果见表 1、表 2。从表 1、表 2 中数据可知,本文算法增强后图像的 *PSNR* 和 *SSIM* 值均高于其他算法。由此可见,本文提出的算法在一定程度上使夜间道路图像的对比度和清晰度有所提高,使图像看起来更加自然,显著提高了图像质量,增强了图像的可读性,验证了本文算法对于夜间道路图像有很好的增强效果。

表 1 图像质量指标 *PSNR*Table 1 Image quality index *PSNR*

	HE	MSRCR	CLAHE	本文算法
第 30 帧	6.897 38	8.670 71	19.229 8	23.855 3
第 156 帧	7.138 94	8.283 93	18.442 0	22.604 7
第 235 帧	7.025 55	8.564 37	19.045 9	23.480 5
第 323 帧	6.908 44	8.707 10	19.598 9	24.622 3

表 2 图像质量指标 *SSIM*Table 2 Image quality index *SSIM*

	HE	MSRCR	CLAHE	本文算法
第 30 帧	0.100 93	0.127 56	0.463 26	0.827 20
第 156 帧	0.113 77	0.136 69	0.473 97	0.810 56
第 235 帧	0.102 15	0.129 75	0.469 20	0.836 53
第 323 帧	0.101 93	0.132 29	0.491 01	0.845 60

各算法处理时间对比见表 3。从表 3 中看到, HE、CLAHE 算法的处理时间最短,本文算法时间适中,由于 MSRCR 算法步骤多、公式复杂、计算量大,因此耗时最长。本文算法是在 CLAHE 的基础上进行改进,执行时间虽然略长于 HE 和 CLAHE,但考虑到使用该方法增强后的视频对比度更高、细节信息更加丰富、视频质量更高,综上考虑本文改进的 CLAHE 算法对夜间道路视频有很好的增强效果。

表 3 视频各算法处理时间

Table 3 Processing time of the video algorithms

	HE	MSRCR	CLAHE	本文算法
视频处理时间/s	16.905 55	2 939.18	18.194 21	58.955 29

### 3 结束语

由于夜间缺少光源,导致视频监控对于夜间道路拍摄的视频常呈现对比度低、亮度低、画面模糊、噪声高、存在色差等特点,本文提出了改进的 CLAHE 算法。通过对夜间道路拍摄视频进行增强,并与其他常用算法加以比较,对选取视频中的关键帧进行主客观分析,以及对视频的处理时长的后续分析,证明本文算法对夜间道路视频有明显的增强,

且增强后的视频过渡更自然、色彩画面更符合人体视觉、对比度上升、细节纹理更加丰富。

### 参考文献

- [1] 刘富,刘璐,侯涛,等. 基于优化 MSR 的夜间道路图像增强方法[J]. 吉林大学学报(工学版),2021,51(01):323-330.
- [2] CHEN S D, RAMLI R A. Preserving brightness in histogram equalization based contrast enhancement techniques[J]. Digital Signal Processing,2004,14(5):413-428.
- [3] ZENG Yichong. Automatic local contrast enhancement using adaptive histogram adjustment [C]//IEEE International Conference on Multimedia and Expo. New York, NY, USA:IEEE, 2009: 1318-1321.
- [4] KALLEL F, HAMIDA A B. A new adaptive Gamma correction based algorithm using DWT-SVD for non-contrast CT image enhancement[J]. IEEE Transactions on Nanobioscience, 2017,16(8):666-675.
- [5] CHANG Y, JUNG C, KE P, et al. Automatic contrast limited adaptive histogram equalization with dual Gamma correction[J]. IEEE Access, 2018,6:11782-11792.
- [6] REZA A M. Realization of the Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) for real-time image enhancement[J]. Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal Image & Video Technology, 2004, 38(1):35-44.
- [7] JOBSON D J, RAHMAN Z U, WOODDELL G A. Properties and performance of a center/surround Retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3):451-462.
- [8] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODDELL G A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 6(7):965-976.
- [9] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Retinex processing for automatic image enhancement [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004,13(1):100-110.
- [10] 王超,孙玉秋,徐石瑶,等. 自适应直方图均衡化图像增强算法研究[J]. 长江大学学报(自科版),2018,15(1):55-59,7.
- [11] 李星. 低照度彩色图像 CLAHE 增强算法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2021.
- [12] 史宇飞,赵佰亭. 基于 Retinex 理论的低光图像增强算法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2023,40(6):61-67.
- [13] 曹治国,马怡伟,桑农,等. 夜间图像匹配中的斑状噪声预处理[J]. 红外与激光工程,2004,33(3):278-281.
- [14] 李胜才. SAR 图像斑点噪声抑制方法比较分析[J]. 北京测绘, 2011(3):17-19,34.
- [15] 刘轩,刘佳宾. 基于对比度受限自适应直方图均衡的乳腺图像增强[J]. 计算机工程与应用,2008,44(10):173-175.
- [16] 陈亮,林增. 基于 gamma 校正的多尺度 Retinex 的预处理算法研究[J]. 武夷学院学报,2018,37(9):68-74.
- [17] 朱心愿,曾俊冬,宋小军,等. 基于改进 CLAHE 算法的复杂场景下熔池轮廓分割[J]. 热加工工艺,2024,53(13):62-67,74.
- [18] 赵静,韦海成. 基于对比度受限直方图均衡法的牛羊眼部图像增强方法[J]. 科技资讯,2016,14(13):30-31.
- [19] 徐华美,宋方洲. 基于 MSRCR 改进的夜间图像增强算法研究[J]. 安徽职业技术学院学报,2019,18(4):14-17,36.
- [20] WANG Zhou, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004,13(4):600-612.