

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106566

# 基于图像平均的色深扩展研究及应用

唐敏 滕奇志 熊淑华  
(四川大学电子信息学院 成都 610065)

**摘要:** 目前绝大部分数码相机拍摄获取的彩色图像的红、绿、蓝3个分量各自采用8位的色深位数,对这些图像进行运算、分析和处理以提取图像中的信息或使其满足视觉、心理等要求时,处理后的图像容易出现色彩断层现象,尤其在放大图像时该现象更加明显,不利于人眼主观视觉效果。色深越大,色彩变化越细腻,色深位数超过8位的图像在后期处理中有着更优异的表现。利用对多幅图像求平均的方法,对图像色深进行扩展,并对色深扩展后的低照度图像进行增强处理,实验结果证明,高色深图像经处理后色彩变化更加平滑细腻,得到的图像质量更高,验证了所提出方法的有效性,具有一定的实用价值。

**关键词:** 色深扩展;图像平均;增强

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.60

## Research and application of color depth extension based on image average

Tang Min Teng Qizhi Xiong Shuhua  
(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** At present, most digital cameras take color images with red, green and blue components using 8-bit color depth bits. When these images are processed, analyzed and processed to extract information from the image or to satisfy the visual and psychological requirements, the processed images are prone to color slicing, especially when the image is enlarged, which is not conducive to the subjective visual effect of the human eyes. The larger the color depth, the more detailed the color change. Images with more than 8 bits of color depth have better performance in later processing. This paper expands the color depth of the image by averaging multiple images, and enhances the low illumination image after color depth expansion. The experimental results show that the color change of the high color depth image after processing is smoother and delicate, and the resulting image quality is higher. The validity of this method is verified and it has some practical value.

**Keywords:** color depth expansion; image average; enhance

## 0 引言

色深表示存储单个像素点所用的位数,描述了该点可拥有的亮度等级数。色深位数越高,亮度级数越多,可以组合出更丰富的颜色。一般图像是由8 bit的R、G、B三个分量构成,每个分量的灰度值范围为0~255,若想展现更丰富的色彩信息,则需用更高位数对灰度值进行量化。色深位数的不同体现在图像色彩的连续性和宽容度上,图像色深越小,经图像处理越容易出现色彩断层现象,色深越大,灰度级数越多,后期处理的空间越大,这在图像处理领域是非常有用的。目前虽然已经有可以采集高于传统8位色深的相机和摄像头,如10位、12位等,但在某些特殊情况下仍需对其色深进行扩展以获取图像更多的颜色信息<sup>[1]</sup>。

数字图像在采集和传输过程中往往存在各种噪声导致获取的图像与真实图像存在误差,图像质量受到一定损失,文献[2]提出一种多幅图像平均法,对同一景物多次采集图像相加后求平均,能够有效对图像进行降噪。文献[3]利用图像平均对患者眼睛光学相干断层造影图像进行处理,平均后的图像质量显著改善,背景噪声较小。

以上文献中只利用了图像平均能够达到去噪以改善图像质量的目的,而忽略了多幅图像之间还具有信息互补的特点。本文针对目前相机大多获取的图像为8位色深,在后期处理存在局限性,需要更高色深的图像,根据多幅图像可提供更多信息的特点,研究了多幅图像平均与扩展色深的关系,在相机成像、图像取样和量化的理论基础上,提出一种利用多幅图像求平均的方法扩展图像色深,并用低照

度图像增强实验对比普通 8 位色深和 10 位色深下图像的处理结果,实验结果证明了本文方法的可行性,同时验证了在高色深情况下处理图像的优越性。

## 1 理论基础

### 1.1 相机成像原理

数码相机成像原理可以简单分为两个步骤,首先通过感光器件感知光子的强度和数量来接收光学镜头传来的影像,经模拟电路转换成一定强度的电信号,随后经过模数转换器(analog digital converter, ADC)将模拟电信号转换成数字信号从而形成一幅数字图像。图像噪声是获取和传输图像过程中由于随机信号干扰而产生的无用信号。在获取图像过程中主要受环境因素和传感器元件本身质量的影响,在传输过程中主要是因为传输信道受到污染<sup>[4]</sup>。数字图像中的噪声主要有模式噪声、暗电流噪声、读出噪声、热噪声以及量化噪声等<sup>[5]</sup>。尤其在低照度条件下,由于特殊光照条件,采集的图像不但对比度低且更易受到噪声的干扰<sup>[6]</sup>。

### 1.2 图像取样和量化

对于一幅连续图像,通过取样和量化操作对连续量进行数字化处理获得数字图像。利用 A/D 转换电路能够实现连续量到离散整数值转化,对模拟图像进行采样使之离散化为像素,再将连续像素值通过量化转换为离散量,如图 1 所示。考虑到存储需求和量化硬件的实际性能,图像数字化中灰度级数通常取 2 的整数次幂。一般灰度值的量化用 1 Byte 表示,量化级数  $Q=2^k=256$ ,假设离散灰度级是等间隔的,灰度值取值为  $[0, Q-1]$  之间的任意整数。由于量化误差不可避免,原则上  $k$  取值越大,对重建图像越有利。当图像的采样点数一定时,图像质量受量化级数影响,量化级数与图像质量成正相关,当量化级数取值为 2 时,称此类图像为二值图像,图像可能出现假轮廓。

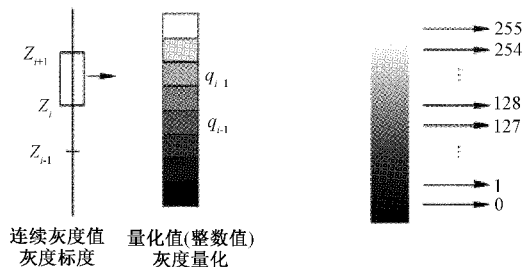


图 1 灰度值量化

### 1.3 色 深

通常人眼所见屏幕上的一个像素点由红、绿、蓝(R、G、B)三基色组成,每种基色背后的光源可显现不同亮度级别,从最暗到最亮之间不同亮度的层次级别称为灰阶。三基色每种颜色从纯色不断变暗直到全黑,将此过程中色彩的变化级别划分为色彩的灰阶并用数字表示,这就是最常见的色彩存储原理。

色深(color depth),即色彩深度,是计算机图形学领域中用来表示在位图或视频帧缓冲区中存储单个像素点的颜色所用的位数,它也称为位/像素(bpp),单位为 bit。色深定义了 R、G、B 三个通道拥有的灰阶数,色彩深度越高,颜色中间层级越多,呈现的画面效果越细腻。典型的色彩深度主要有 8、10、24、32、48 位等。24 位色被称为真彩色, R、G、B 各占 8 位,色彩总数为  $16\ 777\ 216$ 。为便于说明,以下本文中所提到的色彩深度都针对 R、G、B 单通道而言。

色彩深度在摄影行业被称为色彩位数,其值越高,相机所能捕获的影像色彩越多。色彩位数取决于相机中模数转换器的位数,一般常用数码相机的 A/D 转换位为 8~12 位,某些专业的单反数码相机可达 14 位,而用于科学研究的相机一般为 14 位或 16 位。A/D 转换位每提高一位都将产生巨大的数字信息量,在芯片的计算、存储以及实现技术上带来挑战。因此,转换位数越高,相机的成像质量越高,对应的价格也越昂贵。表 1 为色彩位数与灰度等级的对应关系。

表 1 色彩位数与灰度等级对应关系

色彩位数	8	10	12	14	16
灰度等级	256	1 024	4 096	16 384	65 536

相机拍摄图像最终以图像的形式存储,存储图像的格式有 JPEG、PNG、BMP 等多种,为节省存储空间,目前大部分相机提供两种存储格式,分别为 JPEG 格式和 RAW 格式。其中 JPEG 格式是通用照片格式,该格式文件经过有损压缩处理,以较小容量存储并可直接进行预览。RAW 格式严格来说并非一种图像格式,而是相机的感光元器件将光信号转换为电信号的原始数据信息的记录,包括相机拍摄过程产生的一些原数据,便于后期调整而不会造成图像质量的损失。RAW 是未经处理和压缩的格式,不是通用图像文件格式且所占存储空间较大,电脑上大多浏览器并不支持这种格式文件的显示,而且各厂商的记录方式也不同,因此必须通过厂家提供的数据处理软件才能将其转换为通用格式。

## 2 色深扩展

在前述相机成像原理的描述中可知,利用相机进行图像采集时,往往会存在一定噪声,这种噪声在空间域一般是互不相关的随机信号,且是一种加性噪声,所以图像成像模型可表示为:

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y) \quad (1)$$

式中:  $g(x, y)$  表示采集到的实际图像,  $f(x, y)$  为不含噪声的真实理想图像,  $\eta(x, y)$  为噪声。

受多种噪声的影响,在相同环境条件下对同一景物连续拍摄多张图像,获取的图像  $g(x, y)$  中的每个像素点的值不会完全一致<sup>[7]</sup>,而是会在某一值附近上下波动,如图 2

所示的是在同一视域下连续拍摄 18 张图像,其中某一点的像素值,可以看到其值是在 134~139 之间浮动。

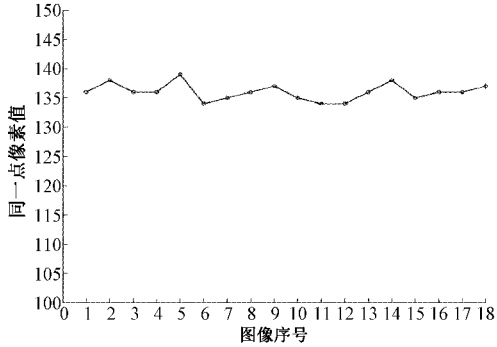


图 2 图像某一点在不同图像序号中的像素值

利用同条件下连续拍摄的不同数量的图像,对每个像素点的值求均值运算可以得到不同精度的数值,再对其进行量化和映射操作,可将低色彩深度扩展到不同比特的高色彩深度。

单个像素每个分量的灰度值从  $k$  bit 扩展到  $s$  bit,量化级数由  $2^k$  扩展为  $2^s$ ,量化精度提升为原来的  $2^{s-k}$  倍,也即量化间隔变为原来的  $1/2^{s-k}$ 。对于  $k$  bit 中满足  $Z_i \leq Z \leq Z_{i+1}$  的  $Z$  值,量化为一个整数,现在重新按照区间  $[Z_i, Z_i + \frac{1}{2^{s-k}})$ ,  $[Z_i + \frac{1}{2^{s-k}}, Z_i + \frac{2}{2^{s-k}})$ ,  $[Z_i + \frac{2}{2^{s-k}}, Z_i + \frac{3}{2^{s-k}})$ , ...,  $[Z_i + \frac{2^{s-k}-1}{2^{s-k}}, Z_{i+1})$  量化为多个数值。因为灰度值要求必须为整数,所以将量化得到的非整数值通过线性映射到更大范围的整数上,由此便可得到位数扩展后相对应的

灰度值。线性映射公式如下:

$$I'(x, y) = I(x, y) \times 2^{s-k} \tag{2}$$

式中:  $I(x, y)$ 、 $I'(x, y)$  分别表示色深位数扩展前后图像的灰度值。

用  $g_i(x, y)$  表示第  $i$  张图像中点  $(x, y)$  处的像素值,对拍摄的  $N$  张图像进行对应像素点均值的计算,得到每个像素点的平均值:

$$\overline{g_i(x, y)} = \frac{\sum_{i=1}^N g_i(x, y)}{N} \tag{3}$$

根据式(2),扩展到高色深后像素点的值可表示为:

$$I'(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N g_i(x, y)}{N} \times 2^{s-k} \tag{4}$$

为达到相应高色深的量化精度要求,将一个灰度级划分为  $2^{s-k}$  个,应使  $N$  满足如下关系:

$$N \geq 2^{s-k} \tag{5}$$

此时可将单位 1 按照量化间隔  $1/N$  分为至少  $2^{s-k}$  个区间,当  $N=2^{s-k}$  时,  $\overline{g_i(x, y)}$  的精度恰好能满足  $s$  bit 的精度要求,采用等间隔量化再映射为整数,这时经扩展后的图像灰度级数达到饱和;当  $N > 2^{s-k}$  时,在满足  $s$  bit 色深位数精度要求的同时,因为利用了更多图像进行均值运算,计算结果会更加接近图像的真实值。

当图像数量  $N=1$  时,将图像中的某一分量由 8 bit 扩展到 10 bit,原图和扩展后图像该分量的直方图如图 3(a)和(c)所示,通过局部放大如图 3(b)和(d)所示,可以看到原本两个连续灰度值经扩展后中间出现了间断。

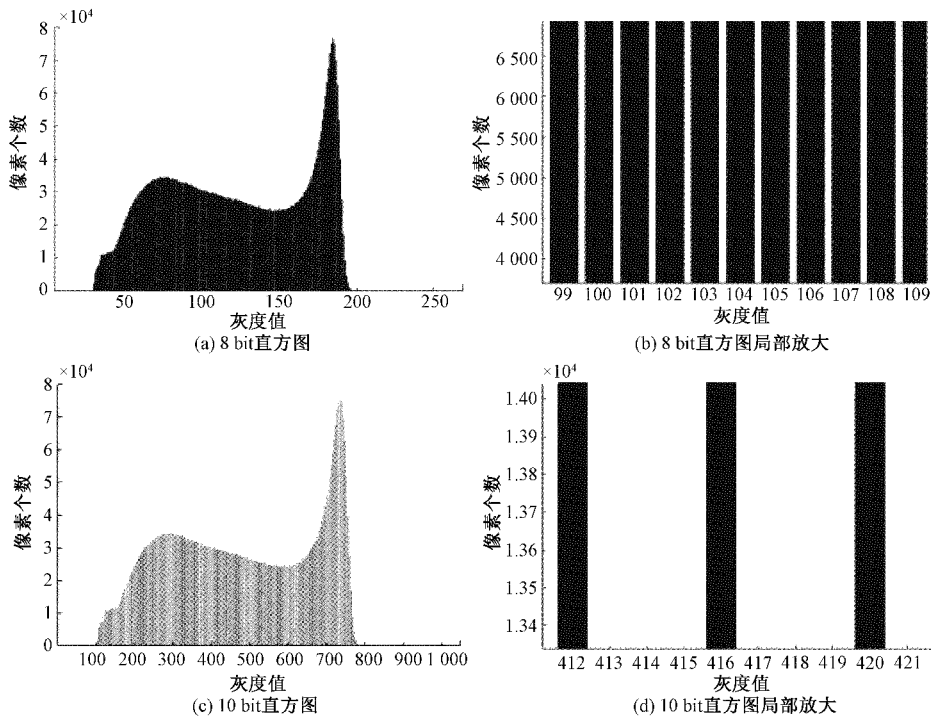


图 3 拍摄图像数量  $N=1$  时图像直方图

图 4(a)~(c)是分别当  $N=2,3,4$  时,由 8 bit 扩展到 10 bit 时直方图的局部放大图,相同区间内的灰度值个数在不断增加直至达到饱和状态。

图 4(d)是分别将 8 bit 扩展到 10、12、14 和 16 bit 时,图像灰度级数与图像数量的关系。由图可以看出,在确定高色深位数下,扩展后的图像的灰度级数与图像数量成正

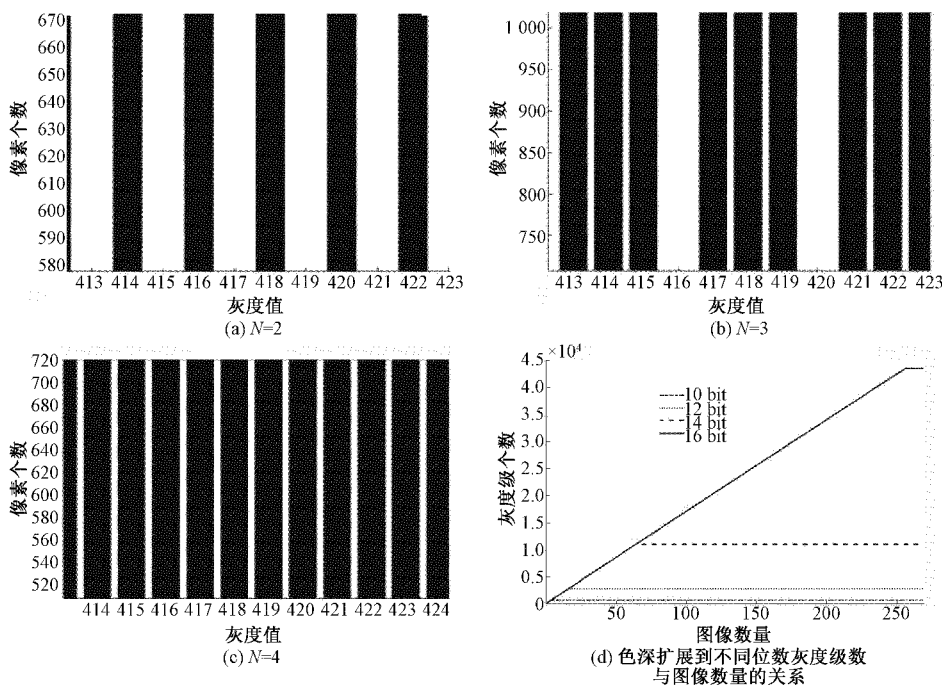


图 4 由不同数量的 8 bit 图像扩展到 10 bit 时的灰度直方图

### 3 实验结果

#### 3.1 低照度图像增强

如今有很多应用领域需要在低光照条件下对图像进行采集,如日常生活中夜间对道路、医院等公共场所进行视频监控,石油地质部门在暗室中利用石油的荧光性对岩石薄片进行荧光分析等,这些低照度图像往往都具有亮度低、对比度低、可视化细节少等缺点,不利于人眼直接观测,因此必须对其进行增强处理,使之在符合人眼视觉的前提下,能够突出原始图像中的某些信息,增强人眼对其的辨别能力<sup>[8]</sup>。

常见的图像增强算法主要有灰度变换法、直方图均衡<sup>[9]</sup>以及近年来比较受欢迎的基于 Retinex 理论的图像增强算法等<sup>[10]</sup>。其中灰度变换法又分为线性和非线性两大类<sup>[11]</sup>。本文采用非线性变换方法中的幂律变换<sup>[12]</sup>对上述两类低照度图像进行增强实验,以此来比较用传统 8 bit 色深和扩展到 10 bit 后对图像进行处理的效果。幂律变换的形式为:

$$s = cr^\gamma \quad (6)$$

式中: $c$  和  $\gamma$  是正常数, $r$  为输入图像图像的灰度值, $s$  为变换后的灰度值。

相关,且当图像数量  $N$  达到一定值后该色深下的灰度级数达到饱和,可以得出结论:为达到相应高色深的精度要求,使扩展后图像的灰度级数达到最大,由 8 bit 扩展到 10 bit 需要至少 4 张图像相加求平均,扩展到 12 bit 需要至少 16 张图像,扩展到 14 bit 则需要至少 64 张图像,而扩展到 16 bit 则需要至少 256 张图像。

#### 3.2 图像质量评价标准

对图像处理的性能通常可以通过图像质量评价标准来衡量。图像质量评价标准主要分为主观评价和客观评价,主观评价是由观察者通过人眼主观感知对图像质量进行分级评分的方法,客观评价是指通过设定相应图像质量指标,由计算机计算图像数据得到,根据评价时是否需要参考图像又可分为全参考(full reference, FR)、半参考(reduced reference, RR)和无参考(no reference, NR)等 3 类评价方法<sup>[13]</sup>。根据本文实验特点,采用无参考图像评价标准。常见的无参考图像评价有信息熵、等效视数、灰阶数等。

灰阶数即图像灰度级的个数,其值越大表示图像包含的颜色越丰富。

信息熵(information entropy)是指一幅图像所含的平均信息量,从信息论的角度衡量图像中信息的多少。假设图像中各像素点的灰度值相互独立,则图像的灰度值分布可表示为  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ , 其计算公式为:

$$H = - \sum_{i=0}^n p_i \log_2(p_i) \quad (7)$$

其中, $p_i$  表示灰度值为  $i$  的像素在图像中出现的概率, $n$  是灰度值的范围(一般为  $0 \sim 255$ )。信息熵的数值越

大,表明图像所包含的信息越多<sup>[14]</sup>。

等效视数(equivalent numbers of looks, ENL)是一种衡量均匀区域光滑性的指标,常被用来衡量原始合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)图像的相干斑抑制滤波器的平滑效果<sup>[15]</sup>。其值越大,表明图像区域越光滑。通常选择感兴趣的区域算其平均值或直接计算整幅图像的ENL值。其公式表示如下:

$$ENL = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (8)$$

其中, $\mu$ 表示图像的均值, $\sigma^2$ 表示图像的方差。这里

用等效视数来表征经过图像处理后图像颜色过渡的平滑程度。

### 3.3 实验结果分析

为检验本文提出的基于图像平均扩展色深并在高色深下处理图像的优越性,对夜晚条件下的自然场景图像以及岩石薄片在显微镜下的荧光图像进行实验:每组图像连续拍摄4张,共拍摄10组图像,对其进行由8~10 bit的色深扩展,分别进行增强处理后再将10 bit转换为8 bit以进行显示,并对结果图进行对比分析。本文中幂律变换设置的参数为 $c=1, \gamma=0.6$ 。其中两组实验结果如图5和6所示。

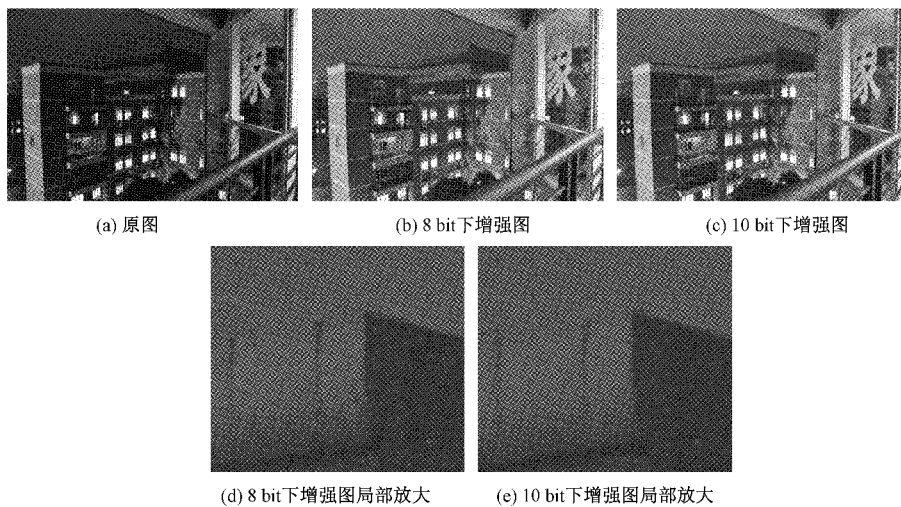


图5 自然场景图像处理结果

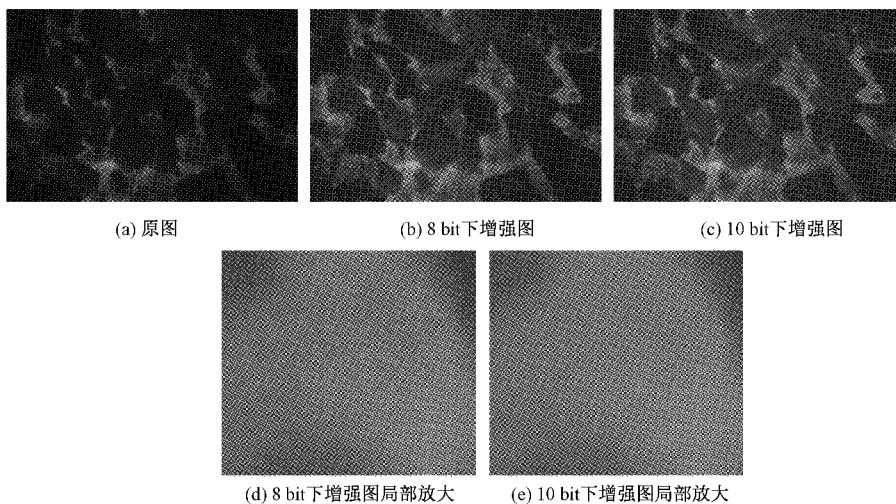


图6 荧光图像处理结果

图5(a)为夜晚自然场景下拍摄的色深为8 bit的原图,图5(b)为直接对图5(a)进行增强处理的结果,图5(c)为利用4张图像相加平均扩展到10 bit后进行增强处理,最后再转换为8 bit显示的结果图。图5(d)和(c)分别对两张结果图的局部放大部分。可以看出两种方式下图像的整体亮度都得到有效地提升,原图上方建筑物与背景

经增强后能够明显区分开。但将结果图进行同样比例的放大后,可以发现8 bit下处理的结果图在均匀的同色区域有明显的块效应,而在10 bit下处理后的结果图则明显颜色过渡更平滑。

图6(a)为岩石薄片在显微镜下拍摄的荧光图像,图6(b)为直接对图6(a)进行增强处理的结果,图6(c)为

利用4张图像相加平均扩展到10 bit后进行增强处理,最后再转换为8 bit显示的结果图。图6(d)和(e)分别对应两张结果图的局部放大部分。经过增强处理后原本不可见的岩石颗粒能够清晰可见,通过观察局部放大图像,在8 bit下处理的结果图中有很多类似斑纹的小块,而在10 bit下处理的结果图则平滑很多,颜色变化更连续。

分别计算8 bit色深增强图和10 bit色深增强图与原图像3个分量灰阶数的差值( $\Delta B$ 、 $\Delta G$ 、 $\Delta R$ )、信息熵差值( $\Delta H$ )和ENL差值( $\Delta ENL$ ),再计算10组实验数据的平均值,从客观评价指标来对比两种处理方式的区别,如表2所示。

表2 客观评价指标

不同色深 对比	评价指标				
	$\Delta B$	$\Delta G$	$\Delta R$	$\Delta H$	$\Delta ENL$
8 bit 增强处理	-13.7	-26.3	-21.4	-0.024	8.094
10 bit 增强处理	21.0	-7.0	0	0.671	9.070

从表2中可以看出,灰度级数:10 bit处理结果图>8 bit处理结果图;信息熵:10 bit处理结果图>8 bit处理结果图;ENL值:10 bit处理结果图>8 bit处理结果图。实验结果表明,经图像相加平均扩展色深后增强的图像比直接用原图进行增强具有更多的灰度级数,即能够显示更多的颜色信息,相较于原图能提供更多信息量,且图像均匀区域颜色过渡的平滑程度更高。

#### 4 结 论

本文提出一种针对传统单通道为8 bit的图像扩展色深的方法,利用相机在相同环境条件对同一场景拍摄得到多张图像,对其进行求均值再映射到高色深范围,并得到了扩展位数与图像数量的关系,同时对原图和扩展后的图像做幂律变换对低照度图像进行增强,实验结果表明,本文提出的方法确实可行有效,经过扩展色深的图像经过处理后色彩变化更加平滑细腻,得到的图像质量也更高。

#### 参考文献

- [1] 田园,周勤. RAW 视频文件格式研究[J]. 电子测试, 2018(1):81-82.
- [2] 马艳娥,陈思,陈娟,等. 基于多幅图像平均法对数字图像降噪的研究[J]. 电子测试, 2011(6):1-3,15.
- [3] AKIHITO U, SRINIVAS R, YUKI M, et al. Effect of image averaging on optical coherence tomography

angiography data in eyes with branch retinal vein occlusion [J]. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology; Incorporating German Journal of Ophthalmology, 2020, 258(8): 1639-1648.

- [4] WANG Q, MA J, YU S Y, et al. Noise detection and image denoising based on fractional calculus [J]. Chaos, Solitons and Fractals: the Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena, 2020, 131:109463.
- [5] 夏冠玉,肖中俊,严志国. 基于CMOS图像传感的低噪声研究分析[J]. 齐鲁工业大学学报, 2020, 34(6): 13-17.
- [6] 张艳,张明路,蒋志宏,等. 基于改进的LIP算法低照度图像增强算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(11):147-154.
- [7] 高文鹏,刘宏清. 基于多幅图像恢复单幅图像的快速算法实现[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2020, 32(6):1031-1038.
- [8] LOH Y P, LIANG X F, CHAN S C. Low-light image enhancement using Gaussian Process for features retrieval [J]. Signal Processing: Image Communication, 2019, 74: 175-190.
- [9] 陈春谋. 基于直方图均衡化与拉普拉斯的铅条图像增强算法[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(7):131-135.
- [10] 朱玉欣. 图像增强算法综述[J]. 信息与电脑(理论版), 2017(16):104-106.
- [11] 姜雪松,姚鸿勋. 夜晚图像增强方法综述[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(3):394-403.
- [12] 王伟江,彭业萍,曹广忠,等. 面向机柜表面缺陷检测的不均匀光照和低亮度图像增强方法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(8):131-139.
- [13] 孙翠霞,刘有耀. 客观图像质量评价[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(9):2290-2294.
- [14] 王智奇,李荣冰,刘建业,等. 基于同态滤波和直方图均衡化的图像增强算法[J]. 电子测量技术, 2020, 43(24):75-80.
- [15] 李浠铭,甘新胜,程健庆. 基于快速非局部均值滤波的SAR图像相干斑抑制算法[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(6):63-68.

#### 作者简介

唐敏, 硕士研究生, 主要研究方向为通信与信息系统。  
E-mail:1030039449@qq.com