

文章编号:1007-2780(2010)02-0273-05

基于亮度分量的快速图像增强方法

詹永鑫¹, 郑学仁¹, 陈建宾²

(1. 华南理工大学 电子与信息学院, 广东 广州 510640; 2. 广东平板显示产业技术研究院, 广东 广州, 510640)

摘 要: 为提高图像的视觉质量, 需要对图像进行对比度增强处理。从研究图像增强的空域法入手, 分析了 Retinex 理论的相关方法。考虑到基于 Retinex 理论现有算法的不足, 提出了基于亮度分量的处理方法, 并用 IIR 实现高斯函数的运算。仿真结果表明, 改进后的方法在完成图像增强的同时, 能避免灰度化, 保持色彩恒常, 并加快处理速度。

关 键 词: 图像增强; Retinex; MSR; 高斯滤波器; IIR 实现

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A

Fast Image Enhancement Method Based on Luminance Compment

ZHAN Yong-xin¹, ZHENG Xue-ren¹, CHEN Jian-bin²

(1. School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;
2. Guangdong Flat Panel Display Industry Technology Research Institute, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Contrast enhancement process is needed in the images in order to improve its visual quality. Starting from the point of spatial methods of image enhancement, Retinex-related methods are analyzed. Considering the defects of the Retinex algorithm, processing method based on luminance and Guassian function using IIR implementation are proposed in this paper. The simulation results prove that these measures can not only enhance the images, and can prevent grayish, keep color constancy and accelerate the processing speed.

Key words: image enhancement; Retinex; MSR; Guassian filter; IIR implementation

1 引 言

人类传递的信息有 70% 是视觉信息, 图像信息是传递信息的重要媒体和手段。但是在生活中, 常常由于光线不充足, 在获得图像后会发现图像亮度不够, 导致景物无法看清楚。为了研究和分析图像, 需对图像进行必要的处理。对于数字图像常用的处理方法就是用图像增强技术来改善图像的像质。图像增强^[1-3], 是指对图像的亮度、色彩等信息进行调节, 以符合人类对颜色的感知, 其主要目的是提高图像的视觉质量或突显出某些特征信息, 在电视、医疗、航空等研究领域均有广

泛应用。

相对于灰度图像, 彩色图像包含更加丰富的信息。由于彩色图像的 3 个分量信息是相互关联的, 直接将灰度图像增强算法推广到彩色图像中是不合适的。现有的彩色图像增强算法根据颜色是否增强可分为两类, 其一是保持颜色不变的增强算法, 其二是颜色根据人眼特性改变的增强方法。其中第二类算法以 Land 提出的 Retinex 理论及其各种演变算法为主要代表。但目前所开发出的基于 Retinex 理论的各种演变算法都存在一定不足, 一是将彩色图像的颜色空间从 RGB 空间转换到 HSI 空间^[4,5], 转换过程需要大量的三角

函数运算;二是采用傅立叶变换处理 Retinex 理论的核心部分高斯函数,影响处理速度。本文提出了基于 YCbCr 颜色空间的亮度分量处理方法,并用 IIR 实现高斯函数运算。实验证明,该算法不但能有效增强图像的质量,还能避免 Retinex 算法中带来的光晕效应,同时算法速度比同类型的图像增强算法更加快速。

2 Retinex 图像增强理论

Land 首先提出了 Retinex 作为人眼感知亮度和色度的视觉模型,主要包含两方面内容:

①物体的颜色是由物体对长波、中波和短波光线的反射能力决定的,而不是由反射光强度的绝对值决定。

②物体的色彩不受光照非均匀的影响,具有一致性。其定义理想的图像 $f(x,y)$ 为:

$$f(x,y) = r(x,y) \times i(x,y) \tag{1}$$

即一幅图像 $f(x,y)$ 可以用环境亮度函数 $i(x,y)$ 和物体反射函数 $r(x,y)$ 的乘积来表示。环境亮度函数描述周围环境的亮度,与物体无关,它直接决定了一幅图像中像素能达到的动态范围;而物体反射函数是指物体反射能力,与照明无关,它包含了景物的细节信息^[1-3]。

自从 Land 提出该理论以来,Jobson 等人在 Land 的研究成果基础上,定义了单尺度的 Retinex 算法 (Single Scale Retinex, SSR)、多尺度的 Retinex 算法 (Mutil-Scale Retinex, MSR) 和带颜色恢复因子的多尺度 Retinex 算法 (Multi-Scale Retinex with Color Restoration, MSRCR)。综合处理效果和处理速度等方面的要求,以 MSRCR 算法为最佳选择。

MSRCR 是在多尺度 Retinex 的基础上考虑色彩的结果,引入了一个色彩恢复因子 C ,其表达式为^[4-6]:

$$R_{\text{MSRCR}i}(x,y) = C_i(x,y)R_{\text{MSR}i}(x,y) \tag{2}$$

$$C_i(x,y) = f[I_i(x,y)] = f\left[\frac{I_i(x,y)}{\sum_{i=1}^N I_i(x,y)}\right] \tag{3}$$

其中,

$$R_{\text{MSR}i}(x,y) = \sum_{k=1}^K W_k \{ \log I_i(x,y) - \log [F_k(x,y) \times I_i(x,y)] \} \quad i = 1, \dots, N \tag{4}$$

下标 i 表示第 i 个光谱带, N 表示光谱带个数,

$N=1$ 时代表灰度图像, $N=3$ 代表彩色图像 (RGB)。 $F(x,y)$ 被称为环境函数。对于环境函数的选择可以有很多种,其中以 Hurlbert 提出的高斯函数为主要选择。高斯函数的表达式为:

$$F(x,y) = K \exp[-(x^2 + y^2)/\sigma^2] \tag{5}$$

σ 为高斯函数的标准偏差,其取值选择使得式 (6) 成立:

$$\iint F(x,y) dx dy = 1 \tag{6}$$

k 表示环境函数的个数。环境函数 F_k 选取不同的标准偏差 σ_k , 用来控制环境函数范围的尺度。 W_k 表示和 F_k 相关的权重系数。实验表明对于大多数图像而言,环境函数可以选取大、中、小 3 个尺度 (15, 80, 250), 每个尺度的权重可以相同,也可以根据侧重动态范围压缩或是侧重色感一致性的需要来选取。 C_i 表示第 i 个通道的色彩恢复系数,是用来调节 3 个通道颜色的比例,公式 (3) 中函数 f 表示颜色空间的映射函数。

在 MSRCR 算法中,色彩恢复因子起着决定性作用。这种形式的 Retinex 算法突出了图像中暗区域的信息。图像局部区域亮度和对比度接近真实场景,也就是它能提供较好的动态范围压缩、颜色和亮度恒常性以及较好的颜色再现的特性。

3 基于亮度的图像增强方法

上述几种形式的 Retinex 算法虽能够不同程度地对图像进行增强处理,获得了不错的增强效果,但也存在以下两个问题:

(1)彩色图像的 3 个分量 R、G、B 是紧密相互关联的。上述方法对彩色图像进行增强处理时, R、G、B 3 个分量是分别进行处理的,这种方式不但计算量较为庞大,而且会使处理后的图像效果出现颜色偏差。即使带颜色恢复的 MSRCR 算法考虑到了颜色的相关性,但颜色复原函数的提出缺乏严格的神经生理学理论支持,并未保持色调恒定,增强后的图像也会趋于灰度化,甚至失真。

(2)上述处理过程中均涉及到对高斯函数进行卷积运算,需要大量的计算时间。目前所使用的代替方法主要是将卷积部分的两个因子先转换到频域中(一般采用 FFT 运算),此时时域中的卷积就变为频域中的乘积,再将该乘积做频域的逆变换,转回到时域中 (IFFT 运算)。但傅立叶变换是一种频域分析法,能很好地刻画信号的频率

特性,却不提供任何时域信息,这一缺陷导致该方法无法在频域信息和时域信息之间取得平衡。

基于以上考虑,本文提出了下面两点改进措施。

3.1 采用 YCbCr 颜色空间与 RGB 空间进行转换

众所周知,除了 RGB 颜色空间之外还有其他颜色空间,如 HSI 颜色空间、YUV 颜色空间等,这些空间能将亮度分量和色度分量分离开来。在这些空间中使用 Retinex 算法,可以只针对亮度分量进行处理,从而减少计算量。目前常用的是 HSI 空间。

HSI 颜色空间采用色调和饱和度来描述颜色,是从人类视觉机理的角度出发所提出来的。

RGB 到 HSI 空间的转换公式为^[1]:

$$\begin{cases} I = (R + G + B)/3 \\ S = 1 - \frac{3}{R + G + B}[\min(R, G, B)] \\ H = \arccos\left\{\frac{[(R - G) + (R - B)]/2}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}}\right\} \end{cases} \quad (7)$$

从方程组(7)可知,RGB 空间与 HSI 空间的转换要对每一个像素点进行三角函数运算,这需要大量的计算时间和计算量,违背了快速处理图像的基本原则。本文采用 YCbCr 颜色空间。

在 ITU-R BT. 601 关于发展世界数字视频标准的建议中,YCbCr 颜色空间作为相关的一部分得到了发展,它被用于电视信号的传送。RGB 和 YCbCr 颜色空间之间的互换公式为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299\ 000\ 00 & 0.587\ 000\ 00 & 0.114\ 000\ 00 \\ -0.168\ 736\ 00 & -0.331\ 264\ 00 & 0.500\ 000\ 00 \\ 0.500\ 000\ 00 & -0.418\ 668\ 00 & -0.081\ 312\ 00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000\ 000\ 0 & -0.000\ 926\ 40 & 1.401\ 686\ 76 \\ 1.000\ 000\ 0 & -0.343\ 695\ 38 & -0.714\ 169\ 04 \\ 1.000\ 000\ 0 & 1.772\ 160\ 42 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} \quad (9)$$

从式(8)、(9)可以看出,相对于 RGB 和 HSI 空间之间转换关系,RGB 空间和 YCbCr 颜色空间之间的互换只涉及到简单的代数运算,计算量较小,计算速度快;而且由于 YCbCr 颜色空间作为一种数字视频标准,它能对输入的电视信号直接进行处理,可以省去中间的信号转换部分。

基于亮度 Y 分量的 Retinex 处理过程可表示为:

$$R_{MSR}(x, y) = \sum_{k=1}^K W_k \{(\log Y(x, y) - \log[F_k(x, y) \times Y(x, y)])\} \quad (10)$$

3.2 IIR 实现高斯滤波运算

(2)从 Retinex 处理过程中可以看出高斯滤波是该方法的主要步骤,其运算速度直接决定了算法效率。本文为避免傅立叶变换的不足,对高斯滤波器进行了 IIR 实现,把高斯滤波器分解为正向滤波器和反向滤波器的组合,如下面的差分方程。

正向滤波器:

$$w_1[n] = I[n] + \sum_{i=1}^5 d'_i w_1[n-i] \quad (11)$$

$$O_1[n] = Cw_1[n] \quad (12)$$

反向滤波器:

$$w_2[n] = O_1[n] + \sum_{i=1}^5 d'_i w_2[n+i] \quad (13)$$

$$O_2[n] = Cw_2[n] \quad (14)$$

其中, C 、 d_i 、 d'_i 是滤波器系数; $I[n]$ 是输入数据; $w_1[n]$ 是正向滤波器的中间状态, $O_1[n]$ 为其处理结果; $w_2[n]$ 是反向滤波器的中间状态, $O_2[n]$ 是其处理结果。

正向和反向滤波器就构成了高斯滤波器的 IIR 实现。可以利用高斯函数的可分离性:

$$h_i(x, y) = k \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma_i^2}\right) = k \exp\left(-\frac{x^2}{\sigma_i^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{\sigma_i^2}\right) \quad (15)$$

先对图像逐行进行处理,再逐列进行处理,最终就可以实现二维高斯数字滤波。这能提高整个算法的处理速度。

4 结果与讨论

下面通过两张图片,对原图、采用 MSRCR 和

本文方法进行处理后的图像处理效果进行对比。

从图 1 中可以看出,原图中的场景较为黑暗,有很多细节被淹没。MSRCR 算法虽然能够突出阴影中的细节,但灰度化的趋势也很明显。采用本文提出的基于亮度分量的处理和用 IIR 实现高斯滤波的方法不但能突显出淹没在阴影中的细节,而且能够避免 MSRCR 算法的不足,在色彩保真度方面也能取得理想效果。

从图 2 中可以看出,原图中的卡通人物色彩暗沉。采用 MSRCR 算法对其进行增强处理后,头发、脸和鞋等部分都得到了增强;但从整体上来说,图像偏于灰度化。采用本文提出的基于亮度分量的处理和用 IIR 实现高斯滤波的方法,增强效果不但能增强图像中的卡通人物,而且色彩鲜艳,整体效果比采用 MSRCR 算法的增强效果要好。

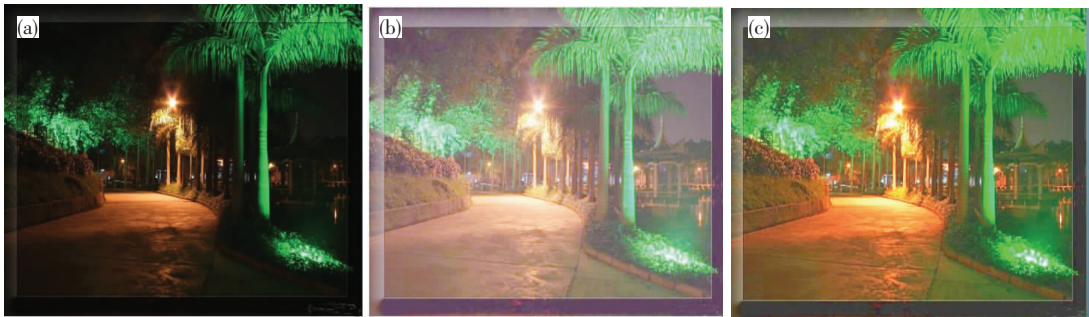


图 1 (a) 原图;(b)采用 MSRCR 法处理后的图像;(c) 采用本文方法处理后的图像.

Fig. 1 (a) Original picture;(b) Image after treated by MSRCR method;(c) Image after treated by our method.



图 2 (a)原图;(b)采用 MSRCR 方法处理的图像;(c) 采用本文方法处理后的图像.

Fig. 2 (a)Original picture;(b)Image after treated by MSRCR method;(c) Image after tread by our method.

5 结 论

图像增强能增大图像的灰度范围,在色彩保真度方面也是一项重要研究内容。从 SSR、MSR 再到 MSRCR 算法,是一个改进的过程。经过 MSRCR 算法处理后的图像能突出细节,颜色保真度方面也取得重要进展,但由于是针对 R、G、B 3 个分量分别进行处理,所以由此引发的灰度化

趋势明显。本文针对 MSRCR 算法存在的不足,提出了改进措施:一是将图像从 RGB 空间转换到 YCbCr 空间,只针对亮度分量进行处理,不但节省了处理时间,而且因为不涉及到色度方面的处理,所以能很好地保持图像的色彩;二是将处理过程中的主要部分——高斯滤波,用 IIR 进行实现,能避免傅立叶变换的不足,加快处理速度。

参 考 文 献:

[1] 刘家朋,赵宇明,胡福乔. 基于单尺度 Retinex 算法的非线性图像增强方法 [J]. 上海交通大学学报,2007,41(5): 685-688.

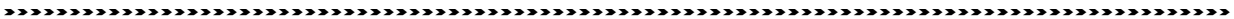
[2] 李学明. 基于 Retinex 理论的图像增强算法 [J]. 计算机应用研究,2005,(2):235-237.

[3] 宋凯,沈红,刘昶. 多尺度 Retinex 灰度图像增强算法 [J]. 辽宁大学学报(自然科学版),2008,35(1):46-48.

[4] Liu Yuehu, Su Yangqi, Zhu Yunfeng, *et al.* A multi-scale retinex algorithm for image enhancement[J]. *IEEE Transactions on Image Processing, International Conference on Vehicular Electronics and Safety Proceedings*, Xi'an, China;IEEE,2005;131-133.

[5] Lamberti Fabrizio. CMBFHE—a novel contrast enhancement technique based on cascaded multi-step binomial filtering histogram equalization [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2006, 52(3):966-974.

[6] Li Ying, Hou Changzhi, Tian Fu,*et al.* Enhancement of infrared image based on the Retinex theory [C]//*Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cité Internationale*, Lyon, France;IEEE, 2007;3315-3318.



物理量量值表示法

物理量量值必须用阿拉伯数字表示。按规定,阿拉伯数字后的单位必须使用我国法定计量单位,在非普及性的科技书刊中,还应使用单位的国际符号。例如:1 m, 5 d,12 m²,4 A,2 000 m³/s,273 K,100~150 kg,30 多 V,400 余 t 等。

在非普及性的科技书刊中,非量值情况下也使用单位的国际符号。例如:“速度的单位为 m/s”,“每 mL 溶液……”等,只要不会引起误解,单位的国际符号可以用于一切使用单位的场合。

对于非物理量的量词前面的数字,一般也应使用阿拉伯数字,包括整数一至十。例如:1 支铅笔,2 台电视,3 组数据。

SI 词头

代表的因素	词 头 名 称		符 号	代表的因素	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文			英 文	中 文	
10 ²⁴	yotta	尧[它]	Y	10 ⁻¹	deci	分	d
10 ²¹	zetta	泽[它]	Z	10 ⁻²	centi	厘	c
10 ¹⁸	exa	艾[可萨]	E	10 ⁻³	milli	毫	m
10 ¹⁵	peta	拍[它]	P	10 ⁻⁶	micro	微	μ
10 ¹²	tera	太[拉]	T	10 ⁻⁹	nano	纳[诺]	n
10 ⁹	giga	吉[咖]	G	10 ⁻¹²	pico	皮[可]	p
10 ⁶	mega	兆	M	10 ⁻¹⁵	femto	飞[母托]	f
10 ³	kilo	千	k	10 ⁻¹⁸	atto	阿[托]	a
10 ²	hecto	百	h	10 ⁻²¹	zepto	仄[普托]	z
10 ¹	deca	十	da	10 ⁻²⁴	yocto	幺[科托]	y