

基于多尺度 Retinex 的图像增强算法

彭佳琦, 刘秉琦, 董 伟, 华文深, 王金玉, 王运波
(军械工程学院光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003)

摘 要: 针对单景深低对比度图像中可用信息量少, 可辨别性低的特点, 提出运用多尺度 Retinex 理论对该类图像进行增强。根据单景深图像特点, 在多尺度 Retinex 处理过程中采用平均标准偏差作为尺度参数的基础, 设计多尺度参数高斯滤波器与原始图像在空域中进行滤波, 最后运用灰度级均匀化对处理后图像进一步增强, 结果显示处理效果良好。

关键词: 图像增强; 多尺度 Retinex; 高斯滤波器; 尺度参数

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Method of Image Enhancement Based on Multi-scale Retinex

PENG Jia-qi, LIU Bing-qi, DONG Wei, HUA Wen-shen, WANG Jin-yu, WANG Yun-bo
(Dept. of Optics and Electronic Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The paper proposes image enhancement by multi-scale Retinex for signal depth of field which has the character of low contrast, little of available message and low of differentiability. According to the character of signal depth of field, multi-scale Retinex adopts multi-scale Gaussian filter filtering with original picture in space based on average standard deviation. At last, the paper deals with pictures by gray level equalization, the outcomes show that this method plays well.

Key words: image enhancement; multi-scale Retinex; Gaussian filter; scale parameter

1 引 言

目前图像对比度增强技术主要针对的对象是灰度图像, 处理过程主要是根据灰度图像的直方图进行修正, 其目的在于提高整幅图像或局部图像的对比度。但是直接将灰度图像处理方法应用到彩色图像中, 即将 R, G, B 三色分别进行灰度处理, 其处理效果不尽如人意, 往往会出现原始图像所没有的色彩信息, 视觉上给人以添加伪彩色的感觉。常见的彩色图像增强方法有两种: 一种是将彩色图像的 RGB 三色转化到 HSV 空间 (H: 色度; S: 饱和度; V: 亮度) 或者转换到 YCbCr 空间 (Y: 亮度; Cb, Cr: 色度信息), 亮度信息的处理过程和灰度图像的处理过程相一致, 色度和饱和度的增强可根据需要进行处理。这种处理方法可改善 RGB 三色分别处理时的伪彩色效果, 但是如果在色度和饱和度处理时运

用方法不当, 转换后的图像中会出现颜色不均, 产生颜色块等现象, 效果也不理想。另外一种是从生理学角度出发, 根据人眼视觉系统对色彩的感知特性而产生的算法, 被称为色彩恒常性理论。目前具有代表性的色彩恒常性理论主要是 VonKries 色系数定律和 Edwin Land 的 Retinex 理论。本文主要是对 Edwin Land 的 Retinex 理论进行研究的。

2 Retinex 理论

Retinex 是一个合成词, 它是由视网膜 Retina 和大脑皮层 Cortex 这两个词构成的, 是由 Edwin Land 最早提出的。此理论认为人类知觉到物体表色与物体表面的反射性质有着密切的关系, 而与投射到人

作者简介: 彭佳琦 (1983 -): 女, 硕士研究生, 研究方向为图像处理。
E-mail: pengjiaqi613@sina.com
收稿日期: 2008-04-22

眼的光谱特性关系不大,即人眼知觉到物体的表色不受照明环境变化的影响。根据此理论,图像主要由两部分组成,分别是入射光和反射物体,由公式可表达为:

$$L = E \cdot R$$

其中, E 代表入射光; R 代表物体的反射性质; L 代表反射光, L 被观察者或照相机接收构成彩色图像。而事实上,入射光 E 直接决定了一幅图像中像素能达到的动态范围,反射物体 R 决定了图像的内在性质;Retinex 理论的目的就是为了从图像 L 中获得物体的反射性质 R ,即抛开入射光的性质获得物体的本来面貌。在 Retinex 理论的发展过程中出现了多种算法,如单尺度 Retinex、多尺度 Retinex 以及结合后处理方法的全局和多尺度 Retinex 算法。

3 单尺度 Retinex 和多尺度 Retinex

单尺度 Retinex 和多尺度 Retinex 算法的实质都是通过原始图像与高斯函数的卷积来获得平滑图像,然后提取亮度图像的,类似于同态滤波,但不同之处是:同态滤波是在频域中进行滤波,而单尺度 Retinex 和多尺度 Retinex 算法是在空域中进行滤波。单尺度 Retinex 公式如下:

$$R(x, y) = \log I(x, y) - \log [F(x, y) * I(x, y)]$$

$$F(x, y) = \frac{\exp(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2})}{\sqrt{2\sigma\pi}} \quad (r = x^2 + y^2)$$

其中, $I(x, y)$ 表示输入图像;*表示卷积运算; $R(x, y)$ 表示经 Retinex 理论处理后的输出图像; $F(x, y)$ 为高斯函数。

从公式中可以看出,高斯函数滤波器只有唯一的参数 σ ,此参数在单尺度 Retinex (SSR) 的处理过程中起到了关键性的作用,被称为尺度参数,它直接决定着 SSR 的性能。当 σ 越小时,SSR 的动态压缩能力越强,图像中的细节部分就越能更好地突显出来,但是输出图像颜色失真情况比较严重;反之,当 σ 越大时,输出图像的颜色保真度越好,但是动态压缩能力也同时减弱。

由于 SSR 有上述缺陷,因此,在 SSR 的基础上提出了多尺度 Retinex (MSR)。多尺度 Retinex (MSR)是对单尺度 Retinex (SSR)的概括,它之所以优于 SSR 在于它能够选择不同尺度的尺度参数对图像进行滤波增强,即可同时保证动态范围的适当压缩和颜色高保真。应用多尺度 Retinex 主要能够

实现如下目标,对未校准设备进行补偿、颜色恒常、局部动态范围压缩、全局动态范围压缩、色彩增强。多尺度 Retinex 的公式为:

$$R(x, y) = \sum_{k=1}^K W_k \{ \log I(x, y) - \log [F_k(x, y) * I(x, y)] \}$$

其中, (x, y) 表示像素点在图像中的坐标;*表示卷积运算。 K 表示尺度参数的个数; $I(x, y)$ 表示输入图像; $R(x, y)$ 表示经多尺度 Retinex 处理后的输出图像; $F_k(x, y)$ 表示尺度参数为第 k 个的高斯函数, W_k 表示与第 k 个尺度参数构成的高斯函数相关的权重。文献[2]中是通过高、中、低三个尺度的合并来实现多尺度 Retinex 增强,但是并没有给出具体的尺度参数的确定方法;文献[3]计算滤波窗口内灰度均值,并求取该均值与当前像素点灰度值差值的绝对值,将其作为该点的尺度参数 σ 的大小,设计自适应高斯滤波器。对于单景深,低对比度并且目标所占像素值远远小于背景的彩色图像来说,由于其对比度低,目标边缘与周围像素值相差很小,设计滤波窗口自适应得到尺度参数 σ 的方法相对复杂,耗用时间较多。本文主要针对单景深低对比度彩色图像进行双尺度 Retinex 增强处理,根据图像特点,选取图像的平均标准偏差作为图像的第一个尺度参数。考虑到在高斯滤波器作用下,信号的边缘会发生移位现象,不同尺度的高斯滤波器产生的移位效果不同,尺度参数越大,边缘的移位现象就越明显。如果在不同尺度高斯滤波器作用下图像边缘移位超过一个像素的位置时,就有可能丢失图像的边缘^[4]。所以,两个尺度参数之间的步长应不超过 0.5,又由于处理方法是基于单尺度 Retinex,处理后的图像其动态范围拉伸状况并不能充分利用显示装置的最大动态范围,所以图像需要进一步的进行增强处理。通过实验证明,此方法可有效增强单景深低对比度图像的对比度。

4 算法实现

图 1 所示为原始图像。



图 1 原始图像

4.1 尺度参数的选择

尺度参数的大小决定了输出图像的颜色保真度和动态压缩范围,是决定高斯函数的唯一参数,对于空中目标来说,由于天空雾气较重,没有云朵等相对静态物体,目标比较单一。由大面积天空作为图像的背景,灰度变化相对较缓慢,经试验验证其背景灰度值变化很小,可近似等效为没有变化。目标与背景之间的灰度变化也很小,所以,在本研究中将整幅图像的平均标准偏差作为高斯函数的第一个尺度参数 σ_1 。将平均标准偏差作为尺度参数,避免了由于尺度参数过大或过小而造成的图像颜色失真和动态压缩过小等缺点,可以在确定第二个尺度参数时保留一定的活动范围。由文献[4]中得知尺度参数的大小影响到边缘保留得是否正确,是否会出现模糊等现象。当尺度参数的值较大时,高斯滤波器对噪声有很好地消除作用,但是图像边缘位置的偏移量较大;当尺度参数的值较小时,与边缘的重合度比较高,但是去噪效果不好。经验证,两个尺度参数之间相差不到0.5时,可保证图像边缘的清晰与准确。在本实验中,第二个尺度参数选择的浮动范围不超过0.5,又根据尺度参数越大,其颜色保真性越好的特点,将第二个尺度参数定为 $\sigma_2 = \sigma_1 + 0.5$ 。

4.2 后续处理

单尺度 Retinex 和多尺度 Retinex 的处理过程都是将输入图像与高斯函数在空域中做卷积,得到输出图像。在处理过程中,多尺度 Retinex 是以单尺度 Retinex 为基础,最后再作加权处理。评价一幅图像对比度的好坏主要是检验其动态范围是否充分利用显示装置所允许的最大动态范围,如果不能满足,将使得图像的一些细节难以观察,所以结合 Retinex 增强理论,对图像进行后续处理。传统的图像增强方法可简单分为全局处理和局部处理两大类,对于局部处理来说,可以根据图像局部信息的变化,自适应的改变增强算法中的参数,对目标的边缘效果处理较理想,但是局部处理方法不可避免地会产生块噪声,使图像的整体视觉感较差。针对本研究图像的特点:单景深,低对比度,目标信息含量小,选用全局处理方法较好。在本实验中,选用灰度级线性拉伸的全局处理方法。可以在保留细节的同时将图像的动态范围拉伸到显示装置所允许的最大范围内,改善了因线性拉伸所引起的灰度级吞并和过增强等现象^[7]。

下面给出具体步骤:

1) 将输入彩色图像分解为 R, G, B 三幅灰度图像,依次将这三幅灰度图像中的像素点的灰度值的数据类型转化成 double 型。

2) 将输入图像放在对数域中处理,入射光和反射光分量在此步中被分离,即:

$$J_i(x, y) = \log I_i(x, y) = \log(E_i(x, y)) + \log(L_i(x, y))$$

其中, i 代表第 i 个颜色通道; $I_i(x, y)$ 代表第 i 个颜色通道的输入图像; $E_i(x, y)$, $L_i(x, y)$ 分别代表第 i 个颜色通道的入射光分量和反射光分量。

3) 在对数域中求取 R, G, B 三幅灰度图像的平均标准偏差 σ_{1i} , 作为第一个尺度参数。第二个尺度参数为:

$$\sigma_{2i} = \sigma_{1i} + 0.5$$

其中, σ_{2i} , σ_{1i} 分别是第 i 个颜色通道的第二个和第一个尺度参数, 0.5 是两尺度参数之间的步长。

4) 根据尺度参数设计高斯模板与原图像做卷积,即相当于对原图像在空域中做低通滤波,得到低通滤波后的图像 $S, F_k(x, y)$ ($k=1, 2$) 表示尺度参数为第 k 个的高通滤波函数:

$$S_{1i}(x, y) = J_i(x, y) * F_1(x, y);$$

$$S_{2i}(x, y) = J_i(x, y) * F_2(x, y);$$

5) 用原始图像减去低通滤波后的图像,便得到高频增强的图像:

$$G_{1i}(x, y) = J_i(x, y) - S_{1i}(x, y);$$

$$G_{2i}(x, y) = J_i(x, y) - S_{2i}(x, y);$$

6) 将所得结果相加取平均:

$$G_i(x, y) = \frac{1}{2}(G_{1i}(x, y) + G_{2i}(x, y));$$

在这里,取两个高斯函数处理结果的平均值。

7) 将所得结果取反对数,得到 Retinex 增强后的图像 $R_i(x, y)$ 。

$$R_i(x, y) = \exp(G_i(x, y));$$

8) 对 $R_i(x, y)$ 作对比度增强处理,得到最终图像。

4.3 实验结果

4.3.1 本方法的验证结果

从试验录像中取出两帧图像作为验证(如图2所示),从验证结果中可以看出图像对比度有明显改善,目标的轮廓和所在位置可以较容易被辨认出来,并且图像背景的颜色基本没有变化,即没有加入伪彩色的感觉。

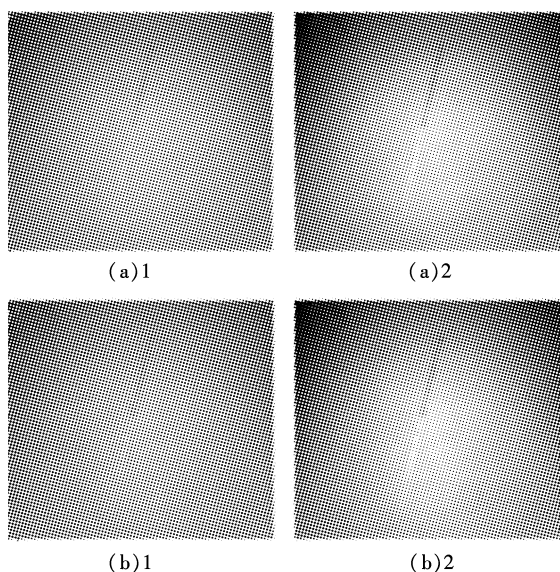


图2 任意两帧图像处理结果

(a)第700帧图像;(b)第701帧图像

4.3.2 与其他算法的比较

在第3.2节中介绍了单景深图像应用全局处理效果较好,所以在这里应用几种全局增强方法与本算法进行比较如图3所示。从试验结果上可以看出,前三种方法不能很好地保留原图像的背景颜色,处理后给人以添加伪彩色的感觉,并且从图像中可以看出,目标轮廓有模糊的现象产生,图像中间区域较周围亮度高。图3(d)利用背景差减法后再利用灰度级等距离化拉伸处理,虽然目标变得很突出,背景颜色与原图像较为接近,但其背景噪声很大,如果对图像进行平化处理,目标也会变得模糊。从原始图像可以看出,火焰处的灰度值比周围其他像素

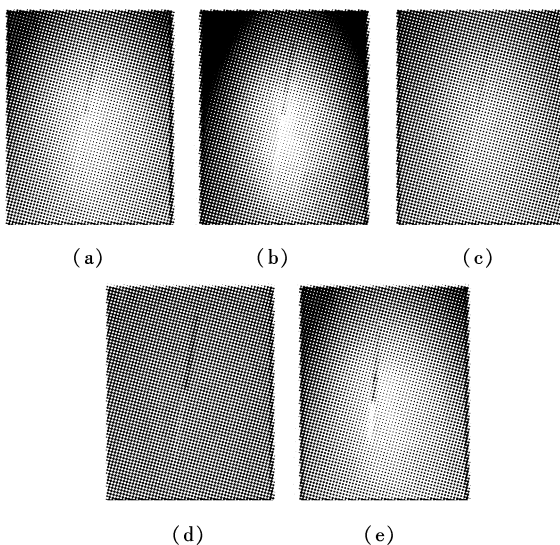


图3 其他全局增强算法

(a)线性增强;(b)非线性增强;(c)同态滤波增强;

(d)背景差减法;(e)特定点跟踪法

点的灰度值要高,所以在图3(e)的处理过程中,利用火焰点高亮度的特点,跟踪这一区域,附加一个类似的目标处理效果。但是这种添加的假目标并不能取代真目标,原始录像中的目标是不停晃动的,并且是随着摄像系统的调焦而不断伸缩的,假目标始终不能变化。图像增强方法还有很多,例如,模糊增强,数学形态学增强等,这些方法对于单景深图像的处理效果都不是很理想,与本文算法相比较,增强效果较差。

5 结 语

本文基于多尺度 Retinex 理论对单景深低对比度图像进行增强处理,由于尺度参数对高斯滤波器起到决定性的作用,所以本文主要是对尺度参数的设置进行研究。对于尺度参数的处理主要是根据图像特点进行选择。选择整幅图像的平均标准偏差作为第一个尺度参数,设计第二个尺度参数时考虑到尺度参数大小会影响到边缘保留的问题和尺度参数对颜色保真度的影响,故设置俩尺度之间的差值为0.5。最后对多尺度 Retinex 处理后的图像进行灰度级线性拉伸处理,使得图像可以在背景颜色基本保持不变的情况下得到增强,目标的轮廓和位置清晰可辨,处理后的效果良好。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像工程——图像处理和分折[M]. 北京:清华大学出版社,1993:72-96.
- [2] 王大雷. 雾天图像增强技术的分析与研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.
- [3] 王振华, 窦丽华, 陈杰. 一种尺度自适应调整的高斯滤波器设计方法[J]. 光学技术, 2007, 32(3): 395-397.
- [4] 郭显久, 庄严, 王珂, 等. 基于高斯滤波器的尺度相乘边缘检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 3: 70-71.
- [5] 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算法[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(5): 685-688.
- [6] 高彦平. 图像增强方法的研究与实现[D]. 济南:山东科技大学, 2005.
- [7] 李怀琼, 陈钱, 隋修宝, 等. 基于灰度冗余的红外图像实时均衡技术[J]. 激光与红外, 2006, 36(5): 409-412.
- [8] 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.
- [9] 黄凯奇, 吴镇扬, 王桥. 色彩恒常在彩色图像增强中的应用[J]. 应用科学学报, 2004, 22(3): 232-236.