

基于 S 曲线多尺度 Retinex 红外图像增强算法

王雷雷, 金学波

(浙江理工大学信息电子学院, 杭州 310018)

摘要: 针对受环境影响造成红外图像热成像对比度不足的问题,应用多尺度 Retinex 增强算法,对低能见度的红外图像进行图像增强,并在此基础上提出了一种改进的基于 S 曲线多尺度 Retinex 红外图像增强算法,该 S 曲线函数具有定义域与值域区间一致、拐点非对称的特点。实验结果表明:利用改进后的算法,对红外图像进行图像增强,在目标图像增强的同时也抑制了背景噪声,提高了原图像的对比度与质量,获得了目标区域的最佳视觉效果。

关键词: 图像增强; MSR; Retinex 理论

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

0 引言

随着红外技术的快速发展,红外热成像系统被广泛应用于军事、民用领域。由于红外成像机理、红外传输特性、传感器件本身以及环境因素的影响,其成像质量远远低于可见光图像,导致了红外图像呈现出分辨率低、对比度低、灰度范围窄、边缘模糊、信噪比较低等缺点^[1]。在实际应用中,为了提高红外图像的视觉效果,需要对其进行一定的增强处理,以便于后续处理。因此,对红外图像进行增强处理是红外图像处理技术中的一个重要的环节。

红外图像对比度增强,通常可以采用灰度变换法和直方图均衡化法进行,这种方法的缺点是在增强对比度的同时也放大了噪声,导致目标不够明确;而非线性滤波器在去除图像噪声同时也很好地保护了图像的细节。Retinex 算法就是一种非线性算法,主要用于减少由于光照不均匀引起的图像降质,并对感兴趣的目标进行有效地增强。本文针对红外图像的特点及常规增强方法的不足,提出了一种基于 S 曲线的多尺度 Retinex 算法对红外图像进行增强处理。

1 基于 S 曲线多尺度 Retinex 算法

Retinex 理论是由 Edwin H Land 从生物学角度来考虑图像成像而提出的一个色彩恒常性理论。Edwin H Land 经过多次的实验及结果分析,认为在视觉信息的传输过程中人类的视觉系统对接受到的外界信息进行了某种处理,除掉了光源强弱以及光照不均匀等一系列不确定的因素,而只保留了反映物体本质特征的信息。当这些描述物体本质特征的相关信息传送到大脑皮层之后,经过更为复杂的信息处理,才最终形成人的视觉信息^[2]。Retinex 算法主要用于补偿由于光照强度不均匀以及光照变化而引起的图像质量下降问题,并能对感兴趣的目标进行有效的增强,广泛应用于数字图像处理领域^[3-5]。自从 Land 提出 Retinex 理论以来,在 Land 研究结果上又发展了单尺度 Retinex 算法(single scale retinex, SSR)与多尺度 Retinex 算法(multi-scale retinex, MSR)。

根据 Retinex 理论,一幅图像 $F(x, y)$ 可以表示为:

收稿日期: 2010-11-07

基金项目: 国家自然科学基金(60971119);浙江省科技厅面上项目(2009C34017)

作者简介: 王雷雷(1985-),男,安徽淮北人,硕士研究生,主要从事数字视频图像处理与信息融合方面的研究。

$$F(x,y)=R(x,y)I(x,y) \tag{1}$$

式(1)中, $F(x,y)$ 是人观察或由传感器接收到的图像, $R(x,y)$ 表示物体的反射分量图像, $I(x,y)$ 表示照射分量图像。实际上,物体的反射分量图像 $R(x,y)$ 决定了一幅图像的本质特性,而照射分量图像 $I(x,y)$ 则直接决定了一幅图像中像素所能达到的动态变化范围。

照射分量图像 $I(x,y)$ 可以利用二维高斯卷积函数 $G(x,y)$ 从已知图像 $F(x,y)$ 中得到:

$$I(x,y)=F(x,y)\otimes G(x,y) \tag{2}$$

式(2)中, $\otimes$ 代表了卷积运算; $G(x,y)$ 表示高斯函数($G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$), σ 是其唯一的参数,为概率分布的标准差。不同大小类型的高斯卷积函数是由 σ 的大小决定的,它与滤波器的邻域半径 $r(r^2=x^2+y^2)$ 的关系是 r 越大则 σ 越大, r 越小则 σ 越小。

σ 是高斯函数的唯一参数,直接决定了 Retinex 算法的增强效果。当高斯邻域半径 r 越小时,也就是 σ 越小时,单尺度 Retinex 算法的动态压缩能力就会越强,图像中阴暗的细节部分就越能得到较好的增强,但是输出图像的颜色失真就比较严重;相反,当高斯邻域半径 r 越大,即 σ 越大时,输出图像的颜色效果比较好,然而动态压缩能力会被相应的减弱。多尺度 Retinex 可以克服这种情况^[6],将式(1)复杂的乘法计算取对数转变为简单的加法计算后,其数学形式如下:

$$\log R_{MSR}(x,y)=\sum_{j=1}^M W_j\{\log F(x,y)-\log[G_j(x,y)\otimes F(x,y)]\} \tag{3}$$

式(3)中, W_j 表示高斯函数的加权值, M 代表高斯函数的个数。一般情况下,多尺度 Retinex 算法可以根据实际应用的要求来确定高斯函数的个数。虽然多尺度 Retinex 算法可以很好地提供图像的动态范围压缩和颜色恢复的特性,但经过 MSR 处理后的图像还可能会显得灰暗,不能达到想要的视觉效果,原因是色彩增强过程中中间部分的灰度值没有被明显区别开来。为此提出了一种非线性的 S 形状传递函数,开始时增长速度较慢,中间一段增长速度很快,之后又缓慢增长趋于某值,该函数的导数是平滑的,更符合于实际情况。

该函数应满足以下条件:

- a)函数的值域与自变量取值是相同的,均为 $[0,h]$;其中 h 为灰度等级数;
- b)函数起始于坐标原点 $[0,0]$,终止于 $[h,h]$ 点,在此区间内是单调递增的;
- c)参数要易于调整,实时性好,能应用于动态增强。

根据以上条件,提出如下的传递函数,其表达式为:

$$f=\frac{hx}{(x+e^{b-ax})} \tag{4}$$

式(4)中, h 为灰度等级数, f 是 S 曲线传递函数, a,b 用于控制曲线的形状, b 代表了曲线所在的位置, a 代表了曲线增长速度的快慢。从图 1 和图 2 中可以发现,它们具有较好的 S 曲线特征,参数 b 主要决定曲线中增长区域的位置, b 值越小,S 曲线越靠近纵轴, b 值越大,S 曲线越远离纵轴;参数 a 主要决定曲线中增长区域的斜率, a 值越大,曲线增长的速度越快;反之,增长速度变慢。曲线不以拐点对称,因而具有较好的灵活性,可对不同区间的灰度值进行放大以提高对比度。

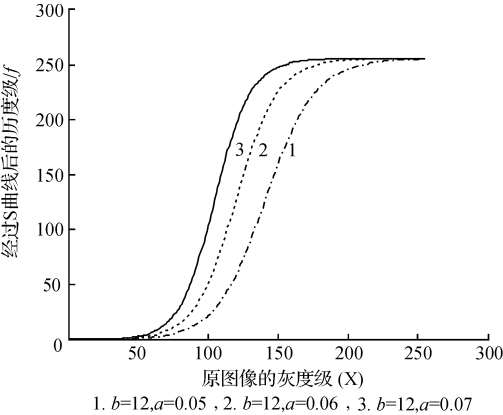


图 1 不同 a 条件下曲线

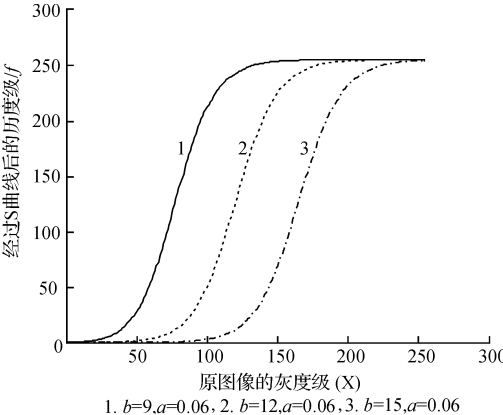


图 2 不同 b 条件下的曲线

2 实验结果及分析

为了验证算法的有效性,分别从主动红外摄像机和被动红外摄像机中获取一幅图像进行如下实验,如图 3 和图 4 中的(a)所示为采集的红外图像。在实验中选取了三个尺度因子分别为 $\sigma_1=15,\sigma_2=80,\sigma_3=250$ 。取各个不同高斯尺度所对应的权重值是相等的,即 $W_1=W_2=W_3=1/3$ 。

图 3 和图 4 中的(b)是由多尺度 Retinex 算法增强后的图像,而利用基于 S 曲线多尺度 Retinex 算法增强后效果如图 3 和图 4 中的(c)所示。



图 3 主动红外图像增强结果



图 4 被动红外图像增强结果

表 1 是基于 S 曲线的多尺度 Retinex 算法与多尺度 Retinex 算法增强后图像质量参数比较情况。从表 1 中可以看出,增强后图像的失真灵敏度比较小,保持了大部分图像的特征;图像的清晰度是正的,即图像的细节得到一定程度的增强,而且改进后基于 S 曲线的多尺度 Retinex 算法清晰度要比多尺度 Retinex 算法的清晰度高些,同时增强后的图像也保持了较高的保真度;此外,主动红外图像的增强效果要比被动红外图像增强效果好。

表 1 增强图像质量参数比较

		失真敏感度	清晰度	保真度
主动红 外图像	MSR	0.085 7	0.120 8	0.793 5
	基于 S 曲线 MSR	0.071 8	0.207 3	0.865 2
被动红 外图像	MSR	0.153 6	0.097 5	0.682 4
	基于 S 曲线 MSR	0.128 5	0.136 2	0.751 8

3 结 语

针对红外图像的成像特点,讨论了一种典型的基于 Retinex 理论的红外图像增强方法,并在此基础上对多尺度 Retinex 算法进行了改进,提出基于 S 曲线多尺度 Retinex 增强算法。实验结果表明该算法增强效果不但能有效地改善图像对比度,同时使目标的细节也更突出,提高了图像的视觉质量,使图像能够达到较好的视觉效果。

参考文献:

[1] 于天河,郝富春,康为民,等. 红外图像增强技术综述[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(S): 335-338.
[2] Edwin H Land. An alternative technique for the computation of the designator in the Retinex theory of color vision[J]. Proc Natl Acad, Sci USA, 1986, 83: 3078-3080.

[3] Wang Rong-gui, Zhu Jing, Yang Wan-ting, et al. An improved local multi-scale retinex algorithm based on illuminance image segmentation[J]. Tien Tzu Hsueh Pao/Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5): 1181-1186.

[4] Bertalmio, Marcelo, Caselles, et al. Issues about Retinex theory and contrast enhancement[J]. International Journal of Computer Vision, 2009, 83(1): 101-119.

[5] Park Y K, Park S L, Kim J K. Retinex method based on adaptive smoothing for illumination invariant face recognition[J]. Signal Processing, 2008, 88(8): 1929-1945.

[6] 彭佳琦, 刘秉琦, 董 伟, 等. 基于多尺度 Retinex 的图像增强算法[J]. 激光与红外, 2008, 38(11): 1160-1163.

Infrared Image Enhancement Algorithm Based on S Curves Multi-Scale Retinex

WANG Lei-lei, JIN Xue-bo

(School of Informatics and Electronics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Due to the environmental impact caused the problem of infrared image which has low contrast, using multi-scale Retinex algorithm to enhance the low visibility of infrared image, and the paper proposes an improved image enhancement algorithm based on S curve Multi-Scale Retinex, the S curve function has the same domain and range, and the characteristics of asymmetric inflection point. The target is enhanced while the noise is suppressed by improved algorithm to enhance infrared image, meanwhile the original image contrast and quality are improved, and the best visual effect of target area is also achieved. The experiment results show that it can reach the goal of enhancing infrared image and getting better effect after using an improved infrared image enhancement algorithm based on S curves Multi-Scale Retinex.

Key words: image enhancement; Multi-Scale Retinex; Retinex theory

(责任编辑: 陈和榜)