文章编号:1001-5078(2013)02-0200-04 ·图像与信号处理·

基于正弦灰度变换的红外图像增强算法

龚昌来,罗 聪,杨冬涛,黄杰贤
(嘉应学院电子信息工程学院,广东 梅州 514015)

摘 要:针对红外图像的特点,提出了一种基于正弦灰度变换的红外图像增强算法。采用二个拐点,将整个图像按灰度的大小分为三个区:背景区、目标区和过渡区,针对不同区域采取不同的灰度映射变换。灰度伸缩采用正弦函数,其导数是光滑的,灰度伸缩性能好。伸缩的拐点及伸缩强度参数独立可调,通用性强,计算简单。实验结果验证了算法的有效性。

关键词:红外图像;图像增强;正弦灰度变换;拐点
中图分类号:TP391 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2013.02.018

Infrared image enhancement based on sine gray level transformation

GONG Chang-lai, LUO Cong, YANG Dong-tao, HUANG Jie-xian
(School of Electronic & Information Engineering, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract: According to the characteristics of the infrared images, an image enhancement algorithm based on sine gray level transformation is proposed. The whole image is divided into three areas according to the size of gray level with two inflection points and the three areas are background area, target area and transition area. Different gray level mapping transformation is applied to different areas. A sine function is adopted for the gray level stretching whose derivative is smooth and its gray level scalability is good. The inflection points of stretching and the parameters of stretching intensity are independently adjustable. The algorithm is also versatile and simple. The experimental results verify the effectiveness of the algorithm.

Key words: infrared image; image enhancement; sine gray level transformation; inflection point

1 引 言

在红外成像技术中,由于红外图像成像机理及红外成像系统自身的原因,红外图像大多对比度低、边缘模糊、背景噪声大,视觉效果差,需要经过增强处理改善图像质量。

目前国内外常用红外图像增强方法有:直方图均衡法、灰度映射变换法、模糊算法、遗传算法、小波算法等[1-2]。直方图均衡化方法将图像原直方图的分布映射为近似均匀的分布,可以达到增强降质图像的对比度的目的。该方法是一种经典方法,原理简单,应用方便。但是该方法在对目标增强的同时也增强了背景,导致背景和噪声占用的灰度级偏多,目标的灰度级偏少,不能有效地突出目标的细节[3],增强效果不太理想。基于遗传算法、小波算法和模糊理论的增强方法,增强效果优于直方图均衡化,但它们算法复杂,计算量大,不适合在实时图像处理系统中采用。

灰度映射变换是一种最简单的、但却非常有效的空间域对比度增强方法[4-5]。它是根据红外图像灰度分布特点,寻找一种映射函数 T,把原始图像灰度 $f(i, j)$ 映射到新的图像灰度 $g(i, j)$,该映射具有低灰度(背景)压缩及高灰度(目标)增强的功能。

基金项目:广东省自然科学基金项目(No. S2012010010368)资助。
作者简介:龚昌来(1962-),男,硕士,副教授,研究方向为图像与信号处理。E-mail:dzxgcl@sohu.com
收稿日期:2012-06-21;**修订日期**:2012-07-16

灰度映射变换法是直接对像素灰度进行映射变换，计算量小，可实现图像的实时处理。虽然该方法存在确定变换函数比较困难且通用性差的缺陷，但由于实时性好，受到许多学者的关注。目前，常用的映射函数采用 S 曲线，有双曲正切、幂函数和伽马函数。由于这些函数均通过渐近线取得极限值，而且大部分是关于拐点对称的[6]，会导致部分灰度区域无法达到，而且不能够结合图像灰度特征进行针对性增强[3]。

本文基于正弦灰度变换，提出一种新的灰度映射曲线，灰度伸缩的拐点及伸缩强度均可控制，可有效地提高图像的增强效果，并且计算简单、处理速度快。

2　正弦灰度变换及参数选择

2.1　正弦灰度变换

本文提出的正弦灰度映射曲线数学表达式为：

$$g(x,y)=\begin{cases}(f(x,y)-a)\times\left[\sin\left(\dfrac{f(x,y)-a}{q_1-a}\times\dfrac{\pi}{2}\right)\right]^k+a & a\leqslant f(x,y)<q_1\\ f(x,y) & q_1\leqslant f(x,y)\leqslant q_2\\ (f(x,y)-b)\times\left[\cos\left(\dfrac{f(x,y)-q_2}{b-q_2}\times\dfrac{\pi}{2}\right)\right]^k+b & q_2<f(x,y)\leqslant b\end{cases}\tag{1}$$

图 1 为式(1)的波形图。q_1 和 q_2 为拐点，本文将整个图像 $f(x,y)$ 按灰度的大小分为三个区：背景区($f(x,y)<q_1$)，目标区($f(x,y)>q_2$)和过渡区($q_1\leqslant f(x,y)\leqslant q_2$)。针对不同区域采取不同的灰度映射变换，对背景区进行压缩，降低背景噪声；对目标区进行拉伸，提高目标对比度；对过渡区不作伸缩处理，保持图像细节灰度层次丰富。灰度伸缩采用正弦函数，其导数是光滑的，灰度伸缩性能好。当 $q_1=q_2$ 时，式(1)退化为单拐点 S 形映射曲线。k 为伸缩强度因子，k 值增大，拉伸和压缩的强度增大，如图 1 所示，实验结果表明对于一般的红外图像增强处理 k 值范围为 1～6，可根据实际增强需要进行选择。

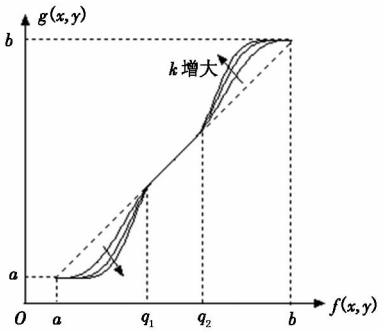


图 1　本文灰度映射曲线

式(1)变换后图像灰度动态范围与变换前相同均为[a,b]。为了扩展增强图像灰度动态范围，可先将原始图像 $f(x,y)$ 的灰度动态范围采用式(2)进行线性拉伸，将其灰度动态范围扩大到与显示设备动态范围一致，再按式(1)进行增强处理。

$$f'(x,y)=(f(x,y)-f_{\min})\times\frac{d-c}{f_{\max}-f_{\min}}+c$$
$$f_{\min}\leqslant f(x,y)\leqslant f_{\max}\tag{2}$$

式中，$f_{\max}$，$f_{\min}$ 为图像 $f(x,y)$ 的最大和最小灰度值，线性拉伸后图像 $f'(x,y)$ 的灰度动态范围为[c,d]，对 8 bit 图像，动态范围[c,d]取[0,255]；对 10 bit 图像，[c,d]取[0,1023]。

2.2　拐点的选择

一幅红外图像的信息可划分为目标区域和背景区域二部分，阈值法是一种简单有效的图像目标与背景分割方法，因此，对于单拐点 S 形映射曲线可将分割阈值作为拐点参数的选择。但是红外成像过程由于存在复杂的背景或较大的噪声，图像灰度分布差别很大，从直方图上分析，有 3 种典型的灰度分布[2]：单峰型、双峰型和多峰型，要找到精确的分割阈值是一件非常困难的事。本文采用二个拐点，将图像分成三个区域(背景区、目标区、过渡区)，可降低对分割阈值精确性的要求。文献[7]基于红外图像的特征提出一个最佳分割阈值范围，本文将其最佳分割阈值范围的上、下限作为拐点 q_2，q_1 参数。

拐点 q_1 的选择：采用整幅图像的平均灰度值作为拐点 q_1 的参数。

$$q_1=\frac{1}{M\times N}\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N}f(x,y)\tag{3}$$

式中，M，N 分别是图像的长和宽。

拐点 q_2 的选择：将灰度大于 q_1 的区域中像素的平均灰度值作为拐点 q_2 的参数。

$$q_2=\frac{1}{m}\sum_{f(x,y)>q_1}f(x,y)\tag{4}$$

式中，m 是满足 $f(x,y)>q_1$ 的像素数目。

本文将灰度低于 q_1 的区域划为背景区，将灰度高于 q_2 的区域划为目标区，将灰度介于 q_1，q_2 的区域划为过渡区。这种划分基于简单的图像统计，避免了分析复杂的图像灰度直方图的过程，也不涉及某种阈值函数的优化问题，计算简单、快速[7]。

2.3 算法步骤

本文方法的算法步骤如下：

(1)输入待增强图像$f(x,y)$。

(2)按式(2)对$f(x,y)$进行线性变换，得到灰度动态范围扩展图像$f'(x,y)$。

(3)对图像$f'(x,y)$根据式(3)和式(4)计算拐点q_1和q_2值。

(4)选择合适的伸缩强度因子k，对图像$f'(x,y)$的每一个像素点按式(1)计算，将计算结果作为增强图像$g(x,y)$对应像素点的灰度值。

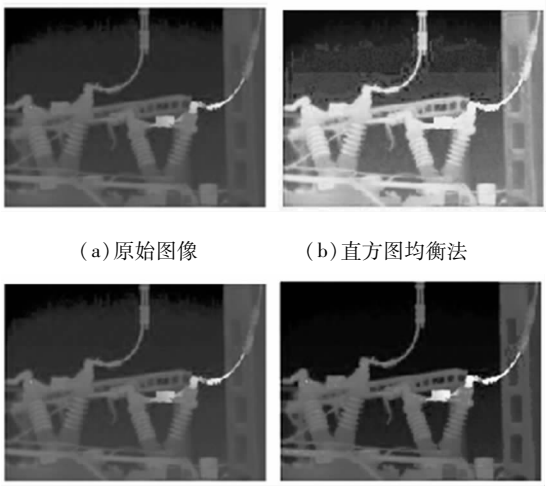
3 实验结果与分析

为验证本文算法的有效性，将本文算法与经典线性变换增强方法和传统的直方图均衡化方法进行增强效果对比实验。采用二幅电力设备红外热像灰度图像作为测试图像。增强效果的客观定量评价指标采用模糊度函数[8-9]进行衡量。

$$F_B=\frac{1}{M\times N}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\min[p(i,j),1-p(i,j)] \quad (5)$$

$$p(i,j)=\sin[0.5(1-f(i,j)/f_{\max})] \quad (6)$$

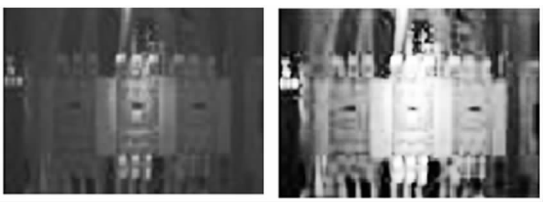
式中，$f(i,j)$表示图像灰度值；$f_{\max}$表示图像的灰度量程，如8 bit的图像$f_{\max}=255$。根据函数的定义，模糊度越低，图像越清晰，增强效果越好。三种算法的增强效果图像如图2和图3所示，模糊度值如表1所示。



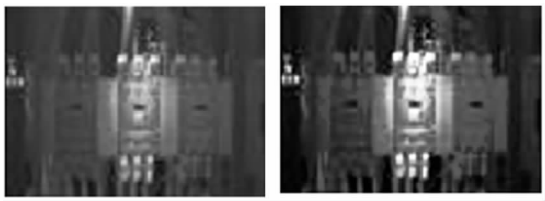
(a)原始图像 (b)直方图均衡法

(c)线性灰度变换法 (d)本文方法

图2 电力设备红外图像增强效果图(一)



(a)原始图像 (b)直方图均衡法



(c)线性灰度变换法 (d)本文方法

图3 电力设备红外图像增强效果图(二)

表1 模糊度F_B数据比较

测试图像	原始图像	直方图均衡法	线性灰度变换法	本文方法
图2(a)	0.0945	0.1990	0.0944	0.0737
图3(a)	0.1106	0.1996	0.1103	0.0853

在主观评价上，由图2～图3可见，直方图均衡化增强的图像，亮度偏亮，图像细节欠丰富，一些杂乱的背景噪声也被增强；线性灰度变换法增强图像目标清晰度不高，增强效果不明显；本文算法的增强图像细节丰富，目标清晰度高，背景噪声低，增强图像的主观视觉效果明显优于其他二种方法。

在客观评价上，由表1可知，直方图均衡化增强的图像模糊度值较大，增强效果差；线性灰度变换法增强图像的模糊度值略比原始图像模糊度值低，说明增强效果不明显；本文算法增强图像的模糊度值最小，增强效果最好，这正好与主观评价的结果保持一致。

4 结 论

为了提高红外图像增强效果，本文提出一种新的灰度映射函数。采用二个拐点，将整个图像按灰度的大小分为三个区：背景区、目标区和过渡区，针对不同区域采取不同的灰度映射变换。灰度伸缩采用正弦函数，其导数是光滑的，灰度伸缩性能好。伸缩的拐点及伸缩强度参数独立可调，应用灵活方便，通用性强。实验结果证明本文算法较经典线性变换法和直方图均衡法增强效果好。并且计算简单、运算速度快、易于实现，可用于红外图像的实时增强处理。

参考文献：

[1] Yu Tianhe, Hao Fuchun, Kang Weimin, et al. Summarization on the infrared image enhancement technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(S): 335-338. (in Chinese)
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] Zhang Changjiang, Fu Mengyin, Jin Mei, et al. Contrast enhancement of infrared image based on discrete stationary wavelet transform [J]. Laser & Infrared, 2003, 33(3):

221 – 224. (in Chinese)
张长江,付梦印,金梅,等. 基于离散平稳小波变换的红外图像对比度增强[J]. 激光与红外,2003,33(3):221 – 224.

[3] Kou Xiaoming, Liu Shangqian, Hong Ming, et al. Approach for adaptive infrared thermal image enhancement [J]. Journal of Xidian University, 2009, 36(6): 1070 – 1074. (in Chinese)
寇小明,刘上乾,洪鸣,等. 一种自适应红外图像增强技术[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版,2009,36(6):1070 – 1074.

[4] Peli E. Contrast in complex images[J]. Optical Socrety of America, 1990, 17(10): 578 – 589.

[5] Ampazis Nikolaos, Perantonis Stavros. Two highly efficient second-order algorithms for training feed forwards networks[J]. IEEE, 2002, 13(55): 1064 – 1074.

[6] Lei Xiaoli, Dang Qun. A new image enhancement by nonlinearity transform method [J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(B06): 346 – 348. (in Chinese)
雷小丽,党群. 一种新的非线性变换法实现图像增强的方法[J]. 光子学报,2007,36(B06):346 – 348.

[7] Du Qi, Xiang Jianyong, Yuan Shengchun. An improved method of maximum classes square error [J]. Infrared Technology, 2003, 25(5): 33 – 36. (in Chinese)
杜奇,向健勇,袁胜春. 一种改进的最大类间方差法[J]. 红外技术,2003,25(5):33 – 36.

[8] Guo J, Liu W G, et al. Adaptive algorithm of infrared target enhancement for target recognition of infrared detector [J]. SPIE, 2009, 7283: 728311.

[9] Sun Haijiang, Wang Yanjie, Liu Weining. Enhancement of infrared images based on adaptive platform threshold and laplace transformation [J]. Chinese Journal of Optics, 2011, 4(5): 474 – 479. (in Chinese)
孙海江,王延杰,刘伟宁. 基于自适应平台阈值和拉普拉斯变换的红外图像增强[J]. 中国光学,2011,4(5):474 – 479.