

文章编号: 1672-8785(2014)09-0043-05

基于改进直方图均衡的红外图像 对比度增强算法

张 燕¹ 史要涛^{1,2} 武春风¹ 王 猛¹

(1. 湖北航天技术研究院总体设计所, 湖北武汉 430040 ;

2. 哈尔滨工业大学空间光学工程研究中心, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 针对红外图像灰度分布集中、对比度低的特征, 提出了一种基于改进直方图均衡的对比度增强算法。首先采用线性对比度增强将原始 16 位红外图像映射到 8 位图像 A; 然后采用改进的平台直方图均衡将原始 16 位红外图像映射到 8 位图像 B; 再根据输入图像的灰度级范围动态确定映射图像 A 和 B 的权值; 最后以确定的权值将映射图像 A 和 B 合并, 得到最终对比度增强的图像。该方法克服了传统平台直方图均衡算法噪声过大及亮度突变的缺点, 动态结合了传统的灰度变换增强算法, 能根据全图目标与背景灰度的分布情况自适应调整对比度。实验表明, 该算法在增强目标对比度的同时有效保留了图像的整体信息, 改善了视觉效果。

关键词: 对比度增强; 红外图像; 平台直方图; 加权组合

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.09.009

An Improved Histogram Equalization Enhancement Algorithm for Infrared Images

ZHANG Yan¹, SHI Yao-tao^{1,2}, WU Chun-feng¹, WANG Meng¹

(1. System Design Institute of Hubei Aerospace Technology Academy, Hubei Wuhan 430040, China;

2. Research Center for Space Optical Engineering, Heilongjiang Harbin 150001, China)

Abstract: Aiming at the features of concentrated gray-level distribution and low contrast of infrared images, a contrast enhancement algorithm based on an improved histogram equalization method is proposed. Firstly, a raw 16 bit image is mapped to 8 bit image A through linear contrast enhancement. Secondly, the raw 16 bit image is mapped to 8 bit image B by using the improved platform histogram equalization method. Thirdly, the weights of image A and image B are determined according to the gray-level range of the input images. Finally, the determined weights are used to combine image A and image B into the final contrast-enhanced image. This method has overcome the drawbacks of great noise and light mutation in traditional platform histogram equalization algorithms. Because the traditional gray-level transform enhancement algorithm is incorporated, it can adjust the contrast of the image adaptively according to the gray-level distribution of the object and background in the whole image. The experimental result shows that the proposed algorithm can keep the entire information in the image effectively while enhancing the contrast of the object.

Key words: contrast enhancement; infrared image; platform histogram; weighted combination

收稿日期: 2014-06-27

作者简介: 张燕(1980-), 女, 湖北云梦人, 工程师, 硕士, 主要从事红外成像制导图像处理技术方面的研究。

E-mail: yaner_98@163.com

0 引言

红外图像有很高的动态范围(如包含地面和天空的场景,由于地面和天空的温差大,图像的灰度范围很宽),而目标与背景或者目标局部的温差却相对较小。当被观察场景的温度范围很宽时,红外图像输出的动态范围会达到 10000 以上。这么高的动态范围不容易在 256 个灰阶的显示设备上显示。为了突出目标,需要对图像进行对比度增强。图像对比度增强方法中最常用的是直方图均衡^[1]和线性映射。对于高动态范围的红外图像,由于目标所占灰度级范围很少,若采用传统的直方图均衡化或线性映射,将会突出占大量灰度级的背景,而将目标淹没。这反而会降低目标的对比度。

为了克服直方图均衡算法的不足,有许多国内外学者提出了直方图投影^[2,3]、直方图双向均衡^[4]、直方图非线性拉伸^[5]、平台直方图均衡^[6-8]和自适应直方图均衡^[9]等一些基于直方图均衡的对比度增强算法。

但是,上述对比度增强算法用于红外图像时存在如下缺点:(1)单个算法只适用于某类特定的红外场景,不能自适应调整以适应绝大部分场景;(2)在场景非常均匀时,图像灰度级分布非常集中。如果采用直方图均衡,灰度级将拉得过开,导致图像的噪声变得很大,严重影响观察效果;(3)当场景移动时,图像的整体亮度会发生突变。

因此,本文提出了一种基于改进直方图均衡的对比度增强算法。首先采用线性对比度增强,将原始 16 位红外图像映射到 8 位图像 A;然后采用改进的平台直方图均衡将原始 16 位红外图像映射到 8 位图像 B,并根据输入图像的灰度级范围动态确定映射图像 A 和 B 的权值;最后以确定的权值将映射图像 A 和 B 合并,从而得到最终的对比度增强图像。该方法克服了传统平台直方图均衡算法噪声过大及亮度突变的缺点,并动态结合了传统的灰度变换增强算法。该方法能根据图像中目标与背景的灰度分布情况自适应确定直方图增强的权值,在目标对比度

大时增加直方图均衡的权值,在目标对比度低时减少直方图均衡的权值。因此,既提高了目标的对比度,又有效保留了图像的整体信息,较好地改善了视觉效果。

1 传统平台直方图均衡

平台直方图均衡是对直方图均衡的一种修正方法。首先选择一个合适的平台阈值 T ,对统计直方图进行如下修正:如果某灰度级的直方图值大于平台阈值 T ,将其直方图值置为 T ,如果其直方图值小于平台阈值 T ,则保持不变;然后对限制后的直方图进行累计积分,得到累积直方图,按照以下公式映射到 8 位图像^[8]:

$$D_T(k) = \frac{(F_T(k) - F_T(0)) \times 255}{F_T(M) - F_T(0)} \quad (1)$$

式中, $D_T(k)$ 是灰度为 k 的像素经过平台直方图均衡化后的灰度值。

2 基于改进直方图均衡的红外图像对比度增强算法

直方图均衡主要是增强背景和噪声,而平台直方图均衡主要是增强目标,抑制背景和噪声。但是,平台直方图均衡存在如下两个缺点:

(1)在图像非常均匀时(如对着均匀黑体),图像灰度级分布非常集中。如果采用平台直方图均衡,灰度级将拉得过开,图像的噪声将变得很大,会严重影响观察效果;(2)图像中场景移动时,图像的整体亮度会发生突变。

因此,本文将线性对比度增强和平台直方图均衡相结合,形成一种全新的、基于改进直方图均衡的红外图像对比度增强算法,其原理如图 1 所示。在图像大部分中间灰度级对比度显示较好的情况下,该算法可使高灰度级和低灰度级区域尽量不饱和。

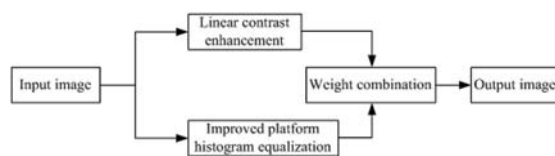


图 1 基于改进直方图均衡的对比度增强原理框图

该算法的基本思想如下:

(a) 用改进的线性对比度增强方法对原始图像进行增强, 得到图像 y_1 ;

(b) 用改进的平台直方图均衡方法对原始图像进行均衡处理, 得到图像 y_2 ;

(c) 最终的输出图像由式 (2) 给出:

$$y = y_1 \times (1 - \alpha) + y_2 \times \alpha \quad (2)$$

式中, α 为加权系数, 取值范围为 $[0,1]$ 。

2.1 改进的线性对比度增强

对于红外图像, 通过 16 位 A/D 采样可获得 65536 级灰度, 但是实际图像的灰度只集中于 0~65536 中间的某个区间。因此, 本文对线性对比度增强算法进行了改进: 在对输入图像进行直方图统计后, 从最低灰度级开始, 抛弃若干像素个数, 然后得到灰度映射的起点 $Hist_{min}$; 从最高灰度级开始, 抛弃若干像素个数, 然后得到灰度映射的终点 $Hist_{max}$; 再将抛点后中间灰度区间 $[Hist_{min}, Hist_{max}]$ 的灰度映射到适合人眼观察的区间 $[20, 240]$ 中。这样, 处于灰度级中间的绝大部分灰度级便可以显示出较好的对比度。

2.2 改进的平台直方图均衡

为克服平台直方图均衡在灰度级分布集中时对比度过大的问题和场景移动时图像的整体亮度发生较大突变等问题, 本文对平台直方图均衡进行了改进, 改进后的平台直方图均衡公式如下:

$$D_T(k) = \frac{(F_T(k) - F_T(0)) \times R}{F_T(M) - F_T(0)} + l_{out} \quad (3)$$

式中, R 是输出图像的灰度范围, 可根据图像动态调整; l_{out} 是映射后的灰度级输出的起点, 可根据图像动态调整。

对比式 (3) 与式 (1) 可以看到, 与传统的平台直方图均衡算法相比, 本文方法主要有以下两点改进:

(1) 动态调整了映射后的灰度级区间 R 。输入图像的灰度级分布比较集中时, 输出图像的灰度级就应该相应地减少。当输入图像的灰度级范围比较宽时, 输出图像的灰度级则应相应地增加。根据这个思想, 本文按照式 (4) 计算输出图像的灰度范围 R :

$$R = \frac{128 \times K_\delta}{1 + \frac{128}{Range_{Hist} + 1}} \quad (4)$$

$$Range_{Hist} = Hist_{max} - Hist_{min} \quad (5)$$

式中, K_δ 为对比度调节因子, $Range_{Hist}$ 为输入图像灰度级范围。 R 的最大值为 255。

输出图像的灰度范围 R 根据式 (5) 计算得到。当图像的灰度级差别很小时, 由于 $Range_{Hist}$ 也相应地很小, 则此时的输出图像的灰度范围 R 也比较小。经过均衡后, 灰度级不会拉得特别开, 可以解决灰度级分布较集中时对比度过大的问题。而且, 式 (4) 有一个缓冲值 128, 能避免 $Range_{Hist}$ 突变而造成 R 的突变。因此, 该方法可以解决传统的平台直方图均衡算法中图像移动时图像的整体亮度发生较大突变的问题。

(2) 动态调整了映射后灰度级输出的起点 l_{out} 。为了适应输出图像灰度范围 R 的改变, 输出图像灰度的起点按式 (6) 计算得到:

$$l_{out} = \sigma \cdot (255.0 - R) \quad (6)$$

式中, σ 为偏移比例因子, 默认为 0.2。

通过动态调整输出图像灰度的起点 l_{out} , 可以避免在灰度级区间过窄情况下映射后灰度集中在低灰度级。

2.3 加权系数 α 的确定

加权系数 α 可根据输入图像灰度级范围 $Range_{Hist}$ 动态确定, 具体方法如下:

$$\begin{cases} \alpha = 0.9 & \text{if } Range_{Hist} \geq 2000 \\ \alpha = \frac{0.4 \times (Range_{Hist} - 500)}{2000 - 500} + 0.5 & \text{if } 500 < Range_{Hist} < 2000 \\ \alpha = \frac{0.9 \times Range_{Hist}}{500} + 0.01 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

输入图像的灰度范围 $Range_{Hist}$ 越大, 则 α 越大, 反之越小。因为当图像的灰度范围较大时, 图像的对比度一般比较高, 此时需要将那些占像素点数特别多或特别少的灰度级压缩。因此, 用改进的直方图均衡能够更好地展示图像中各灰度级的细节。当图像的灰度范围较小时, 图像的对比度较小, 如果采用直方图均衡会将图像的对比度拉伸过度, 而采用线性映射能够更好地抑制噪声。

2.4 算法的实现

基于改进直方图均衡的红外图像对比度增强算法主要由线性对比度增强模块和直方图均衡模块所组成, 其流程如图 2 所示。

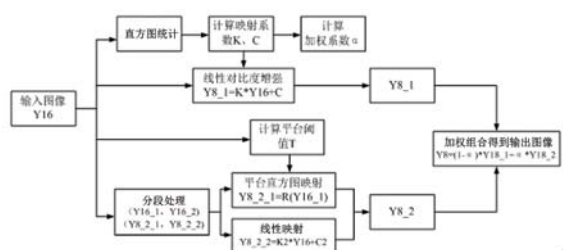


图 2 基于直方图混合的对比度增强算法流程

线性对比度增强模块采用 2.1 中改进的线性对比度增强算法, 将 16 位图像经过线性变换 $Y = K \times X + C$ 映射到 8 位图像 $Y8_1$ 。

根据原始图像的灰度级分布情况, 直方图均衡模块分两段来处理。前半部分灰度级采用 2.2 中改进的平台直方图均衡得到 $Y8_1$, 后半部分采用 2.1 中线性对比度增强得到 $Y8_2$ 。而且两段数据映射到 $Y8$ 后的范围也被限制。即前半段 $Y16_1$ 数据映射范围限制在 $Y8_2_1$ 里, 而后半段

$Y16_2$ 数据映射到 $Y8_2_2$ 里。这里涉及到对原始数据 $Y16$ 的分段和对目标映射范围 $Y8$ 的分段。

直方图均衡模块中, 由于两段处理映射关系不同, 对数据的映射效果也不同, 一般是后半段映射关系斜率较大, 对比度拉伸比较明显。图 3 为本文对比度增强算法的映射关系与图像直方图分布的关系图。可以看出, 利用本文的映射方法, 在图像灰度分布比较集中的区域, 可给予较宽的 $Y8$ 范围进行映射。在图像高亮和较暗的区域, 也可分配较大的斜率进行显示, 因而可保证整幅图像中的有用信息得到较好的显示。

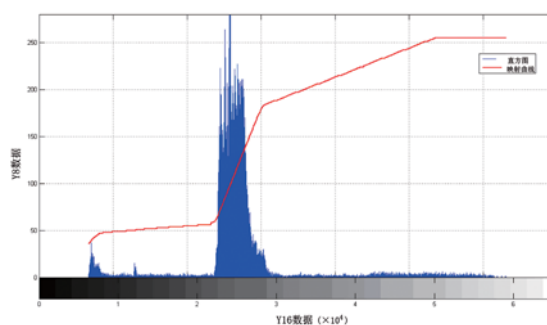


图 3 16 位到 8 位图像映射关系图

3 实验结果与分析

对线性对比度增强、改进的平台直方图均衡和基于改进直方图均衡的红外图像对比度增强的效果进行了大量试验比较, 部分比较结果如图 4 和图 5 所示。

对比这些图, 可以看出, 线性对比度增强方法将占像素较多的灰度级 (如图 2(a) 的天空和图 3(a) 的树林) 拉得比较开, 其中的细节比较清晰, 但占像素比较少地面的灰度级 (图 2(a) 和图



(a) 线性对比度增强

(b) 改进的平台直方图均衡

(c) 本文方法

图 4



图 5

3(a) 的地面建筑) 被较大程度地压缩了, 其中的细节看不清。改进的平台直方图均衡方法对图像整体的对比度拉得比较均衡, 但对占像素较多的灰度级压缩得比较严重, 如图 2(b) 所示, 天空过暗导致云层模糊不清, 对比度很低。本文方法对图像整体的对比度拉得比较均衡, 各个灰度级中的细节都非常清晰, 全图具有良好的对比度。我们对其他试验数据也进行了测试。结果表明, 该方法能够适用于各类不同的红外场景, 具有广泛的适应性。

4 结束语

本文研究了一种基于改进直方图均衡的红外图像对比度增强算法。该方法可以自动调节图像的对比度, 在图像大部分中间灰度级的对比度较好的情况下, 能使高灰度级和低灰度级区域也尽量不饱和。因此在各种场景下该方法都能获得较好的对比度。该算法有效地改善了红外图像“高背景、低反差”的输出特点。它能针对不同目标自适应调节直方图增强系数, 使各种目标对比度均能得到理想增强。该算法在提高目标对比度的同时, 有效保留了图像的整体信息, 因此具有较大的实用价值。

参考文献

- [1] Virgil M, Vickers E. Plateau Equalization Algorithm for Real Time Display of High-quality Infrared Imagery [J]. *Optical Engineering*, 1996, 35(7):1921-1926.
- [2] Silverman J. Signal processing Algorithms for Display and Enhancement of IR Images[C]. *SPIE*, 1993, 2020: 440-450.
- [3] Silverman J. Display and Enhancement of Infrared Images [M]. New York: Electro-Optical Displays, 1992: 585-651.
- [4] 陈钱, 柏连发, 张保民. 红外图像直方图双向均衡技术研究 [J]. *红外与毫米波学报*, 2003, 22(6): 428-430.
- [5] 杨必武, 郭晓松, 王克军, 等. 基于直方图非线性拉伸的红外图像增强新算法 [J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(1): 1-3.
- [6] 王炳健, 刘上乾, 周慧鑫, 等. 基于平台直方图的红外图像自适应增强算法 [J]. *光子学报*, 2005, 34(2): 299-301.
- [7] 宋岩峰, 邵晓鹏, 徐军. 基于双平台直方图的红外图像增强算法 [J]. *红外与激光工程*, 2008, 37(2): 308-311.
- [8] 毛义伟, 顾国华, 陈钱, 等. 记忆改进型平台直方图的红外均衡化算法 [J]. *光学与光电技术*, 2012, 10(5): 63-66.
- [9] 赵耀宏, 史泽林, 罗海波, 等. 自适应红外图像直方图均衡增强算法 [J]. *光电工程*, 2008, 35(3): 97-101.

(上接第 30 页)

- [15] 亓雪勇, 田庆久. 光学遥感大气校正研究进展 [J]. *国土资源遥感*, 2005, 4: 1-6.
- [16] Breon F M, Vermote E. Correction of MODIS Surface Reflectance Time Series for BRDF Effects [J]. *Remote Sens Environ*, 2012, 125: 1-9.
- [17] Vermote E F, Vermeulen A. Atmospheric Correction Algorithm: Spectral Reflectances (MOD09) [M/OL]. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod0-8.pdf, 1999.

<http://journal.sitp.ac.cn/hw>

- [18] Maisongrande P, Duchemin B, Dedieu G. VEGETATION/SPOT: An Operational Mission for the Earth Monitoring; Presentation of New Standard Products [J]. *Int J Remote Sens*, 2004, 25(1): 9-14.
- [19] Yang J. Operational Products and Application of New Generation of FY Polar-Orbit Meteorological Satellite [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [20] 刘玉洁, 杨忠东. *MODIS遥感信息处理原理与算法* [M]. 北京: 科学出版社, 2001.

INFRARED (MONTHLY)/VOL.35, No.9, SEP 2014