

## 基于权值 Gamma 修正星空图像增强

张江楠, 魏 敏

(成都信息工程大学计算机学院 四川 成都 610225)

**摘要:** 电子倍增 CCD(EMCCD) 相机采集的星空图像动态范围大, 背景亮度低, 弱小目标与背景对比度低, 因而不便于后期目标提取。文中采用基于权值的 Gamma 修正星空图像增强算法, 首先利用直方图信息求出每个灰度的累计分布概率, 然后将累计分布概率与 Gamma 修正算法结合起来, 增强星空图像, 提高弱小目标对比度。将文中算法与其他算法做实验比较, 结果表明, 该算法能有效增强星空图像。

**关键词:** 计算机应用技术; 图像处理; 星空图像; 弱小目标; 图像增强

**中图分类号:** TP391.41

**文献标志码:** A

## 0 引言

用于科学研究的星空观测图像通常是由装备电子倍增 CCD 的专用相机拍摄的高动态范围(High Dynamic Range, HDR)图像(如16 bit灰度图, 灰度范围0~65535)。HDR图像相对于传统的8 bit图像, 可以更好地记录和表达场景中的光学特性, 图像的灰度值正比于实际场景中对对应点的实际亮度值<sup>[1]</sup>。采集的星空观测图像包含恒星、空间目标、多种噪声等。星空图像中绝大部分是黑暗的背景, 而弱小目标一般为点状或近似点状的小目标, 只有几个像素大小, 不具备纹理特征, 并且亮度很弱<sup>[2]</sup>, 常淹没在黑暗的背景中, 凭人工很难观测出来。在此情况下, 增强星空图像, 突出空间目标, 对弱小目标的检测、跟踪至关重要。

文献[1]提出基于最优 Gamma 变换的弱小目标增强算法。文献[3]采用图像灰度同本行均值相减方法来抑制温度场的非线性影响, 再利用 Top-Hat 算子形态滤波, 抑制背景和增强目标。文献[4]采用混合中值滤波算法增强暗点目标, 并减少时间复杂度。文献[5]采用改良的 Top-Hat 变换, 可以在强杂波环境下对暗小目标进行增强。文献[6]提出基于统计计算均值和直方图的自适应门限背景抑制与小目标分割方法。文献[7]采用基于灰度变换和直方图修正对星空图像进行增强处理。

由于镜头工艺等原因, 星空图像背景亮度分布不均匀, 常常某部分区域的亮度值高于其他区域, 如果增强算法选用不当, 造成这些区域过亮, 无法看清目标等问

题。因此, 一些传统方法需要利用经验人工选取合适的参数才能保证既能增强星空图像, 又防止图像部分区域过亮。传统的 Gamma 修正算法需要人工选择 Gamma 值, 其他的一些分段 Gamma 增强算法, Gamma 的选择过程也较为繁琐。基于权值分布的 Gamma 修正算法将 Gamma 修正原理与图像的直方图信息结合起来, 可以进行自适应 Gamma 变换, 自动提高弱小目标对比度。此算法不仅不需要经验去设定参数, 效果也比传统 Gamma 增强算法好, 增加了算法的适用性。

## 1 基于权值的 Gamma 修正算法

## 1.1 Gamma 修正原理

Gamma 灰度修正是基于非线性的图像增强算法<sup>[8]</sup>。Gamma 灰度修正公式如下<sup>[9]</sup>

$$T(l) = l_{\max} (l/l_{\max})^{\gamma} \quad (1)$$

$l_{\max}$  是输入图像里灰度最大值, 每个像素的灰度值  $l$  都经过式(1)变换到新的灰度值  $T(l)$ <sup>[10]</sup>。 $\gamma$  是实数, 控制变换效果: 当  $\gamma < 1$  时, 较窄的低灰度范围被映射到较宽的灰度范围; 当  $\gamma > 1$  时, 较宽的低灰度范围被映射到较窄的灰度范围。图1横坐标为像素原始灰度值, 纵坐标为经过 Gamma 变换后的像素灰度值, 可以看出, 当  $\gamma < 1$  时, Gamma 变换可以提高低灰度区域的亮度, 增加图像对比度。

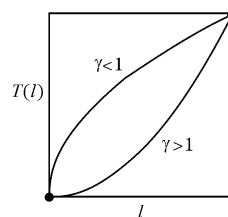


图1 Gamma 灰度变换示意图

收稿日期: 2015-03-01

基金项目: 四川省科技厅基金资助项目(2012SZZ028); 四川省教育厅基金资助项目(14ZA0176)

$\gamma$  值一般是人工来选择,即使是一些自动选择  $\gamma$  值的算法,也需要设置其他参数。并且各个灰度值变换一般只能用一个固定的  $\gamma$  参数,往往效果不是太好。因此传统的 Gamma 增强算法有些不方便。

## 1.2 基于权值的 Gamma 修正原理

由于传统的 Gamma 变换设置的参数固定,所以每个灰度值进行的映射都相同,并不能体现出不同灰度值的映射差异<sup>[11]</sup>。而直方图信息可以提供图像中各种灰度的像素数量差异,直方图均衡算法就利用了累计直方图信息来增强图像,如

$$T(l) = l_{\max} \sum_{k=0}^l \frac{n_k}{MN} \quad (2)$$

其中  $M, N$  为图像的长度和宽度,  $n_k$  为图像中灰度值等于  $k$  的像素个数。基于权值的 Gamma 修正算法将这些直方图统计信息与 Gamma 变换结合在一起,按照像素灰度的分布,针对每个灰度值进行独立的 Gamma 修正,如

$$T(l) = (l_{\max} - l_{\min}) \times \left( \frac{l}{l_{\max} - l_{\min}} \right)^{1 - CDF_s(l)} \quad (3)$$

其中  $l_{\max}$  是输入图像里灰度最大值,  $l_{\min}$  是图像里灰度最小值,  $CDF_s(l)$  是灰度值  $l$  的累计分布函数。可以看到,式(3)的指数  $1 - CDF_s(l)$  不是一个固定值,而是根据灰度值  $l$  的不同而变化。

## 2 改进的星空图像增强算法

首先计算原始图像中像素灰度的最大值  $l_{\max}$  和灰度最小值  $l_{\min}$ 。用下式求每种灰度值的概率密度

$$PDF(l) = \frac{n_l}{MN} \quad (4)$$

其中,灰度值  $l = l_{\min}, l_{\min} + 1, l_{\min} + 2, \dots, l_{\max}$ ,  $n_l$  表示图像中灰度值为  $l$  的像素个数,  $M$  和  $N$  分别为图像的长度和宽度<sup>[12]</sup>。

然后求每种灰度值的权值概率密度函数

$$PDF_w(l) = PDF_{\max} \times \left( \frac{PDF(l) - PDF_{\min}}{PDF_{\max} - PDF_{\min}} \right)^a \quad (5)$$

其中  $PDF_w(l)$  为灰度值  $l$  的权值概率密度,  $PDF_{\max}$  和  $PDF_{\min}$  分别为式(4)中  $PDF(l)$  的最大值和最小值,  $a$  为等于 0.5 的参数。

再求经过平滑处理的累计分布函数<sup>[13]</sup>

$$CDF_s(l) = \sum_{h=0}^l \frac{PDF_w(h)}{\sum PDF_w} \quad (6)$$

$\sum PDF_w$  为式(5)权重概率之和。将式(6)的  $CDF_s(l)$  代入式(3)就能计算出每个像素原始灰度  $l$

对应的变换后的灰度  $T(l)$ 。

星空图像背景大部分分布在低亮度区域,并且近似服从高斯分布,弱小目标亮度一般是高于背景亮度的。图2为星空图像直方图的低灰度区域截图。

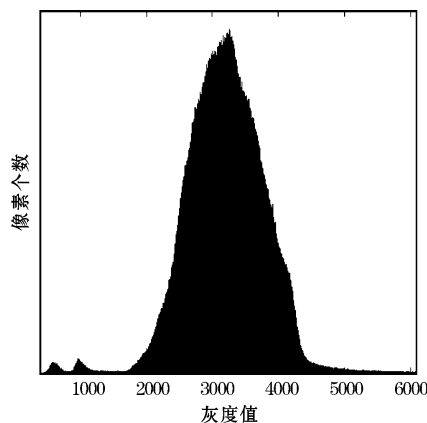


图2 星空低灰度区域直方图

对于传统 Gamma 修正算法,无论像素灰度值为多少,  $\gamma$  指数值都一样。而在基于权值的 Gamma 修正算法中,随着像素灰度值的升高,此灰度的累计分布值  $CDF_s(l)$  会随着升高,指数  $1 - CDF_s(l)$  随着降低。所以此算法对星空背景像素的灰度值以高 Gamma 值进行修正,尽量不使背景过亮,而对弱小目标灰度值会以低 Gamma 值进行修正,大幅增加弱小目标亮度。

## 3 实验及结果分析

将文中算法与直方图均衡化算法、文献[14]的算法和传统的 Gamma 增强算法作比较。文献[14]提出基于 Retinex 理论和灰度形态学的红外弱小目标增强方法。传统 Gamma 增强算法的  $\gamma$  指数取 0.5。测试的两组图像是由 EMCCD 拍摄的星空图片。

第一组星空对比图片如图3所示。

第一组图像中图3(a)是星空原图,亮度低,基本看不到星点;图3(b)是经过直方图均衡化增强的结果,亮度和对比度都增加了,但图像右边部分亮度过高,导致里面的星点看不清;图3(c)是文献[14]的增强结果,文献[14]主要采用  $3 \times 3$  的单尺度模板来做图像增强,虽然图像亮度有提高,但对比度不高,基本看不到星点;图3(d)是传统 Gamma 算法增强结果,亮度和对比度都有所提高,但依然看不清其中的星点;图3(e)是文中增强算法的处理结果,可以清楚看到图中的星点,同时右边区域背景亮度没有过亮,可以较清楚看清这部分区域的星点。

第二组星空对比图片如图4所示。

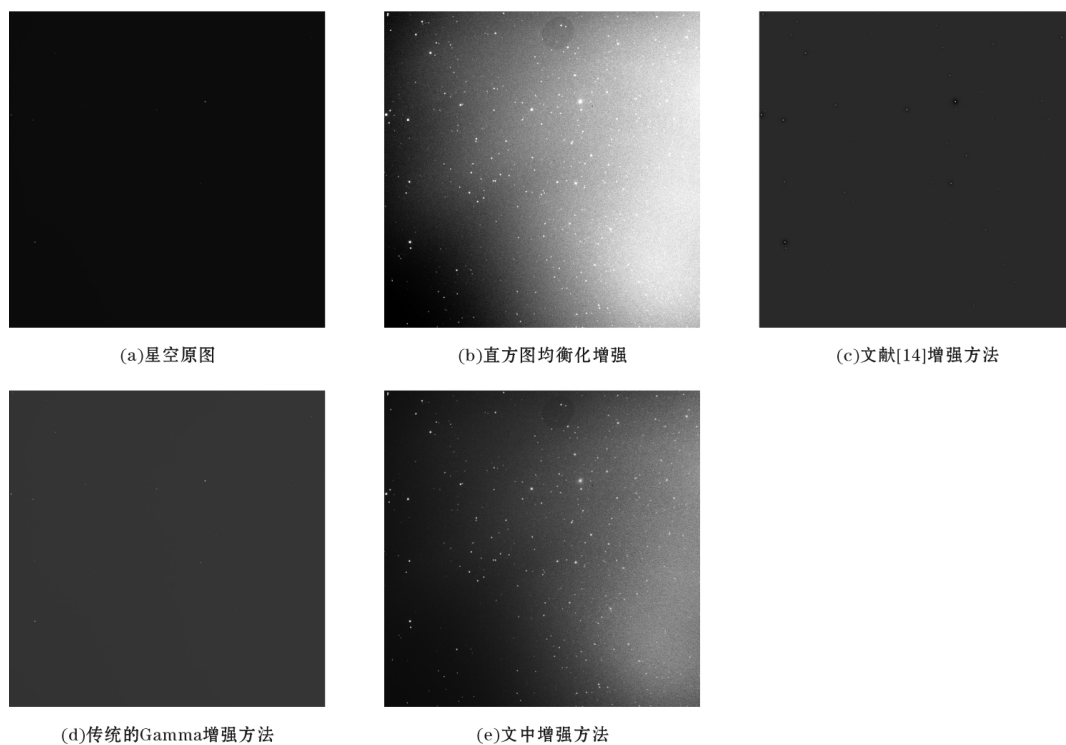


图3 第一组图像结果对比

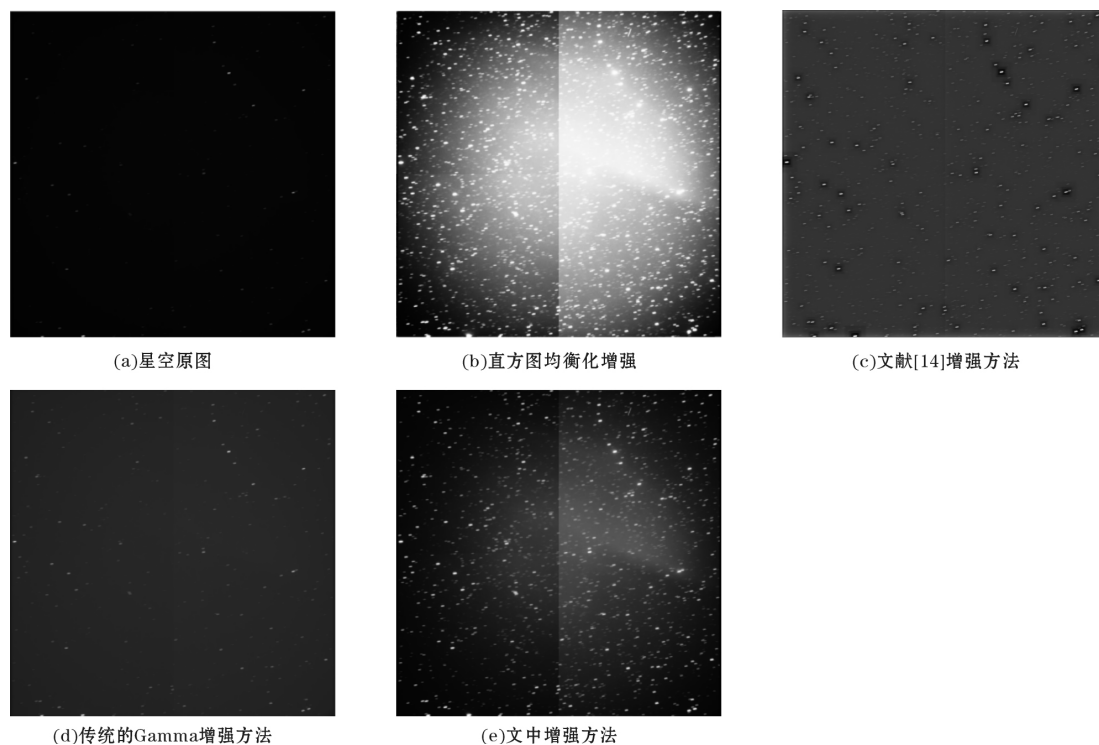


图4 第二组结果对比

可以看出,原始星空图4(a)很暗,几乎看不到太多星点;图4(b)为原图经过直方图均衡化增强,虽然能看到许多星点,但中心区域亮度太高,无法看清此区域的细节,所以增强亮度不均匀;图4(c)是文献[14]的增强结果,文献[14]主要采用的是 $3 \times 3$ 的单尺度模板来做图像增强,效果不是太好;图4(d)是传统Gamma增强算法的结果,有一定的增强效果,可以

看到更多的星星,但对比度不高;而图4(e)可以看到图像中不仅显现出很多星点,增加了星体的亮度,还较好的保持了图像背景亮度的一致性,抑制中心过亮区域,对比度比(d)高,观感比其他图像好。

将原图一部分放大,观察弱小目标的增强效果,如图5所示。

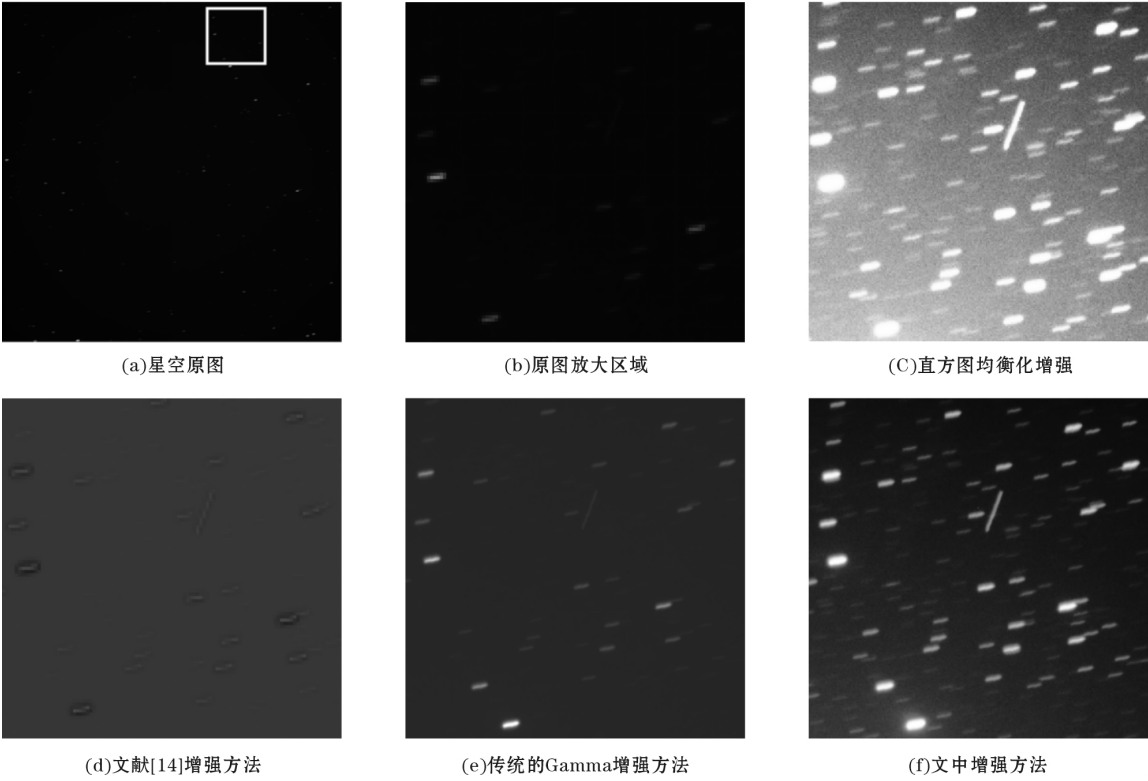


图 5 增强结果局部放大对比

图 5( b) 为图 5( a) 中白色方框的放大区域 ,由于亮度太低 ,基本看不到中心的高速移动目标; 图5( c) 可以看到高速移动目标 ,因为曝光时间内目标移动太快 ,所以拍出来有拖尾现象 ,增强后由于背景较亮 ,所以噪声很多。当目标移动到图 4( b) 中心亮区域时 ,可能就看不清了; 图 5( d) 只隐约看得到高速移动目标; 图5( e) 可以看到星星和移动的目标 ,亮度得到一定程度的增强 ,不过和背景对比度低 ,看不明显; 图 5( f) 在保持了背景亮度较暗的同时 ,增强了目标亮度 ,看得清中心处的高速移动目标。

通过图像对比度量化增强效果 ,定义图像对比度

$$c = \left| \frac{u_T - u_B}{u_B} \right| \quad (7)$$

其中 , $u_T$  为目标的灰度均值 , $u_B$  为背景的灰度均值。对比度越大说明目标灰度和背景灰度区别越大<sup>[15]</sup>。表 1 列出 4 种算法对两组图像进行增强后的对比度。

表 1 4 种增强算法的对比度结果					
	原图	直方图均衡	文献[14]增强算法	Gamma增强	文中增强算法
第一组图像对比度	0.089	0.930	0.142	0.0432	1.615
第二组图像对比度	0.509	0.969	0.434	0.236	2.553

从表 1 可以看出 ,上述 4 种增强算法中 ,文中的增强算法能更有效提高图像对比度。

4 结束语

星空图像整体亮度较低 ,目标与背景对比度低 ,并且由于镜头工艺等原因导致背景亮度分布不均匀。直接使用直方图均衡化会造成某部分过亮 ,无法看清目标的情况。而一些其他的星图增强算法 ,需要用经验人工设置参数才能达到较好的效果。文中采用的基于权值的 Gamma 增强算法 ,相比较于传统的 Gamma 增强算法 ,不需要人工选择参数 ,结合累计直方图信息 ,即可自动增强目标亮度 ,同时保证背景亮度的一致性 ,增加了弱小目标对比度 ,效果也比其他算法好 ,方便后续的弱小目标检测、提取和跟踪。

参考文献:

[1] 张春华 ,张红雷 ,袁博 ,等. 星空观测图像背景估计及其在 HDR 星图增强中的应用 [J]. 遥测遥控 2013 ,34( 4) : 22 - 27 ,38.

[2] 陈维真 ,张春华 ,周晓东. 基于局部直方图高斯拟合的星图背景性质研究 [J]. 红外技术 2008 ,30( 4) : 230 - 233.

[3] 王江安 ,闵祥龙 ,曹立辉. 红外背景抑制与点目标分割检测算法研究 [J]. 激光与红外 2008 ,38( 11) : 1144 - 1148.

- [4] Qingyun Yang. A Hybrid Median Filter for Enhancing Dim SmallPoint Targets and Its Fast Implementation [C]. International Conference on Multimedia and Signal Processing ,Guilin ,14 – 15 May 2011 ,IEEE ,2011: 239 – 242.
- [5] Xiangzhi Bai ,Fugen Zhou ,Ting Jin. Enhancement of dim small target through modified top-hat transformation under the condition of heavy clutter [J]. Signal Processing ( S0165-1684) ,2009 ,90 ( 5) : 1643 – 1654.
- [6] 彭嘉雄 ,周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测 [J]. 电子学报 ,1999 ,27 ( 12) :47 – 51 .
- [7] 马林立 ,沈云峰. 基于灰度修正的星图增强方法 [J]. 红外技术 ,2003 ,25 ( 3) :29 – 31 ,36.
- [8] 彭国福 ,林正浩. 图像处理中 GAMMA 校正的研究和实现 [J]. 电子工程师 ,2006 ,32 ( 2) :30 – 32.
- [9] 曾嘉亮. Gamma 校正的快速算法及其 C 语言实现 [J]. 信息技术 ,2006 , ( 4) :82 – 84.
- [10] Shih-Chia Huang ,Fan-Chieh Cheng ,Yi-Sheng Chiu. Efficient Contrast Enhancement Using Adaptive Gamma Correction With Weighting Distribution [J]. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING 2012: 22.
- [11] 师一华 杨金锋. 图像处理中改进的 Gamma 矫正方法 [J]. 安阳工学院学报 ,2005 , ( 6) :67 – 70.
- [12] Shih-Chia Huang ,Wen-Chieh Chen. A New Hardware-Efficient Algorithm and Reconfigurable Architecture for Image Contrast Enhancement [J]. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING 2014: 23.
- [13] Yi-Sheng Chiu ,Fan-Chieh Cheng , Shih-Chia Huang. Efficient Contrast Enhancement Using Adaptive Gamma Correction and Cumulative Intensity Distribution [C]. Systems , Man , and Cybernetics ( SMC) ,2011 IEEE International Conference 2011: 2946 – 2950
- [14] 张毅 ,徐智勇 ,陈武凡 ,等. 基于 Retinex 理论和灰度形态学的红外弱小目标增强方法研究 [J]. 红外技术 ,2010 ,32 ( 1) :46 – 51.
- [15] 雍杨 ,王敬儒 ,张启衡. 弱小目标低对比度图像增强算法研究 [J]. 激光与红外 ,2005 ,35 ( 5) :370 – 373.

## Enhancement of Star Images based on Adaptive Gamma Correction with Weighting Distribution

ZHANG Jiang-nan , WEI Min

( College of Computer Science ,Chendu University of Information Technology ,Chengdu 610225 ,China)

**Abstract:** It is difficult to extract dim target late in star Images because of the high dynamic range of star images caught by EMCCD camera ,low brightness of background and low contrast of dim target. The paper proposes a method of enhancing star images based on adaptive gamma correction with weighting distribution. Firstly ,we get cumulative distribution function from histogram. Then ,combined with cumulative distribution function and Gamma correction algorithm ,we enhance star images and improve the contrast of dim target. Compared with other algorithms ,experimental results verify the effective performance of the proposed method to enhance star images.

**Key words:** computer applied technology; image processing; star image; dim target; image enhancement