

一种实用的可见光图像自适应对比度增强方法*

胡谋法 陈曾平

(国防科学技术大学 ATR 重点实验室, 长沙 410073)

摘要 提出了一种基于图像一阶、二阶统计特性的自适应可见光图像对比度增强方法。通过分析可见光图像数字特性,提取了图像序列两个时间平稳的特征,即均值和方差。以此为基础,在灰度域对图像进行对比度增强。实验结果表明,提出的方法有效地增强了图像的对比度,同时抑制了部分起伏的背景。该算法在视觉质量上优于传统的基于图像最大最小值的对比度增强方法和直方图均衡方法,而且易于实现。

关键词 对比度增强; 自适应灰度变换; 时间平稳; 高斯分布

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

1 引言

成像观测是对目标进行检测与识别所采用的最直接、有效的手段。在光学波段,以 CCD 作为传感器的各种地基和空基系统的应用越来越广泛,相关的理论和方法越来越多,研究也越来越深入。空间目标在 CCD 像面上成像往往是淹没在复杂的背景中(空间背景,海面背景和地面背景等)。为了更好地检测和跟踪目标,出现了很多图像增强方法,如直方图均衡、直方图规定化、灰度变换等^[1~3]。直方图均衡的优点是能够自动增强图像的对比度,但是其增强效果不易控制。直方图规定化的增强效果可以控制,但是它要求对图像指定最佳的特定直方图,而对于背景复杂的可见光图像寻找特定的最佳直方图是相当困难和复杂的。

灰度映射是将图像灰度通过特定的函数变换到另一个灰度上。本文首先研究了图像数据的统计特性,并且提取了两个时间平稳的特征即图像的均值和方差。在此基础上,提出了一种自适应的灰度映射对比度增强方法。该方法用于地基望远镜观测的星空背景所获得的图像序列,实验表明效果很好。它不仅提高了目标的对比度,而且还有去除部分起伏背景的作用,从而大大提高了后续目标的检测和识别概率,降低了检测和识别的难度。同时,该方

法原理简单,处理上可以并行,非常适合 DSP 快速实现。

2 图像数据特性分析

CCD 相机采集的一幅图像可以表示为

$$I(m,n) = \begin{cases} I_t(m,n) + I_b(m,n) + I_n(m,n), & \text{exist targets} \\ I_b(m,n) + I_n(m,n), & \text{not exist targets} \end{cases} \quad (1)$$

其中, m, n 分别表示图像的空间坐标横、纵轴, $I(m,n)$ 表示图像 (m, n) 处的像素灰度, I_t, I_b, I_n 分别表示目标、背景以及噪声的灰度。一般认为噪声是白噪声过程。

对于地基观测而言,星空背景由于在形成上受物理规律的约束,它们在空间上往往成大面积的连续分布状态,总是占图像的绝大多数像素。图像大体上由两部分构成:一是众多的恒星,它们灰度级比较高,所占像元也较少,其空间位置基本上恒定;二是天空背景、星云等,它们灰度级一般比较低,内部分布也比较均匀,往往占图像的绝大多数像元。

目标包括运动的卫星、空间站等。由于目标辐射强度与周围自然背景的辐射强度不相关,并且一般都是高于背景的辐射强度,因此当目标距离比较远的时候,目标在像面上只有几个到十几个像素大小,灰度级相对较高,目标内部灰度分布比较均匀,在图像上表现为小亮斑。

收稿日期 2005-06-16; 修改稿日期 2005-06-30

作者简介 胡谋法(1979-),男,博士研究生,主要研究方向为光学信息处理、目标识别。E-mail: hu199709_200106@sina.com

*国家 863 高技术(2004AA731270)资助项目

为了研究图像灰度的空间分布特征,以实际采集的可见光图像为研究对象,图1所示为其中的一幅图像。大量的数据研究表明:1)图像直方图呈现单峰特征,而且灰度相对集中在一个较小的区间,这也说明图像空间域上灰度起伏不大,可以认为是平稳的;2)目标和恒星都集中在图像的高灰度区域,一般比较醒目的恒星目标在 5σ 以外,大部分恒星在 $2\sigma \sim 5\sigma$ 之间,目标则大部分像素在 $0 \sim 3\sigma$ 之间;3)图像灰度服从高斯分布。

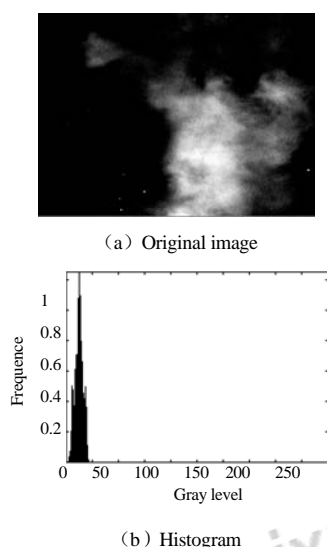
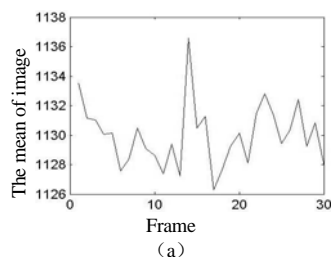


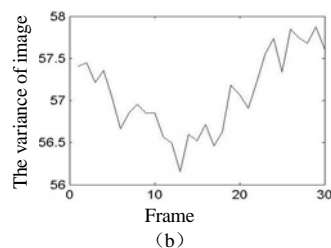
图1 实际采集的一幅图像

Fig.1 CCD image

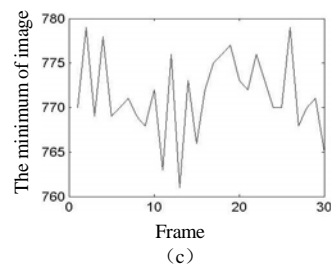
实际观测的总是一组图像序列。一般说来,单帧图像中有很多特征,比如最大值、最小值、一阶矩、二阶矩等。但是,由于背景起伏以及外界噪声、杂散光等的干扰,图像的许多特征将表现出时间上的起伏特性,并且部分特征的起伏在强度和频度上比较剧烈,比如最大值和最小值特征。相对应的,还有部分特征起伏较小,可以认为其具有时间上的稳定性,比如灰度均值和方差,也就是一阶矩和二阶矩特征。图2给出了一组实测数据的特征示意图。



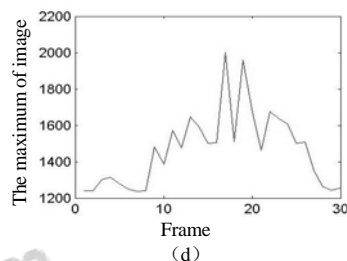
(a)



(b)



(c)



(d)

图2 (a)~(d) 分别表示图像序列的均值、方差、最小值和最大值随时间的变化关系

Fig.2 (a)~(d) The mean, variance, minimum and maximum of the image sequence varying with time

从中可以看到,均值和方差变化很小,均值起伏不超过8,方差起伏不超过2;而极值的变化一般都比较小,最小值起伏在20左右,最大值则在800左右。

3 自适应图像增强

为了计算机显示的需要以及方便 DSP 对图像序列的处理,常常要将原始图像的灰度数据映射到灰度级 $[0, 255]$ (8位整型),或者 $[0, 65535]$ (16位整型)。这种灰度变换就是一种实用的图像增强技术,即对比度增强。不失一般性,将灰度映射区间记为 $[a, b]$ 。目前大多数灰度映射是基于图像的最大最小值。记

$$\min = \min\{I(m,n) | \forall m,n\}$$

$$\max = \max\{I(m,n) | \forall m,n\},$$

则映射可以写成

$$y(m,n) = f(I(m,n)) = \frac{b-a}{\max - \min} [I(m,n) - \min] + a \quad (2)$$

这里 $y(m,n)$ 为映射之后的像素灰度值, $f(\cdot)$ 为灰度映射函数。

图像最大值和最小值随着时间(帧)的变化其强度起伏比较大。根据式(2),即使是相同的目标灰度,其不同帧的变换值也不相同。即这种基于最大最小值的灰度映射的变换结果随着时间具有较大的起伏,并不具有时间上的平稳性。同时,由于实际的图像数据动态范围很大,式(2)的处理会减小其动态范围(映射系数小于1),使得比较暗的目标被亮目标掩盖而不可见。

为了解决上述问题,提出一种基于图像统计特性的灰度映射方法。如前所述,图像的一阶矩和二阶矩统计值,也就是其均值和方差随着时间的起伏不大,远小于最大最小值的起伏。另一方面背景的统计特性研究表明其灰度具有高斯分布特性,因此按照 3σ 原则选取分段灰度映射函数的转折点可以保留约99.87%的背景点,损失的图像信息基本可以忽略。同时,采用 3σ 原则还可以减弱高亮度恒星和噪声对目标亮度的影响,提高目标的对比度,因为目标大部分像素亮度不超过 3σ 原则。新的灰度映射函数可以写为

$$y(m,n)=f(I(m,n))=\begin{cases} b & I(m,n)>\mu+3\sigma \\ \frac{b-a}{6\sigma}[I(m,n)-\mu+3\sigma]+a & \mu-3\sigma\leq I(m,n)\leq\mu+3\sigma \\ a & I(m,n)<\mu-3\sigma \end{cases} \quad (3)$$

这里, $I(m,n)$ 是图像 (m,n) 处灰度,总体均值为 μ ,总体方差为 σ^2 :

$$\mu = E\{I(m,n)\}, \sigma^2 = E\{[I(m,n) - \mu]^2\} \quad (4)$$

实际中常常使用其估计值:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I(m,n) \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [I(m,n) - \hat{\mu}]^2$$

采用式(3)对可见光图像进行增强,由于目标灰度在映射函数的线性区域,因此变换后增大了目标的对比度。由于图像均值和方差的时间平稳特性,使得原始图像相同灰度变换之后也基本上是相同灰度级,这使得视觉上图像亮度也比较稳定,避免了因为灰度映射带来的目标亮度起伏。图像均值和方差时间平稳性还给灰度映射的实现带来了好处:对于一组序列,可以仅仅计算其中一帧的统计特性,并将得到的结果作为所有帧的特征,这样不仅不会影响图像质量,而且大大简化了图像处理的复杂度。

4 实验结果

选取两种信噪比不同的图像,分别是:Ⅰ类图像序列,22帧,目标灰度值中等;Ⅱ类图像序列,16帧,目标灰度值小。图像原始尺寸均为 512×512 像素,灰度映射区域为 $[0, 255]$ 。比较两种映射函数以及直方图均衡处理两类图像后目标的对比度以及信噪比。图3所示为处理的结果,其中白框标示出了目标的位置。

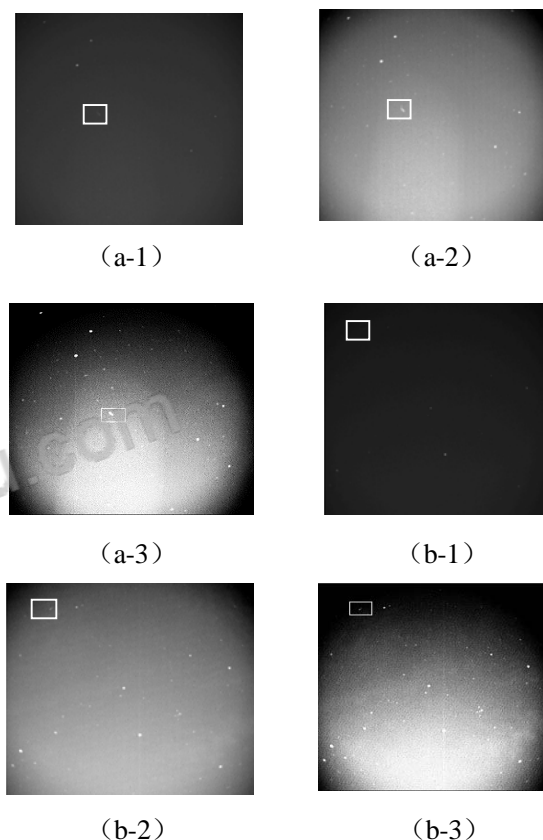


图3 两类图像对比度增强,其中(a-1),(a-2),(a-3)分别是Ⅰ类第13帧图像基于最大最小值映射、统计特性拉伸和直方图均衡的结果;(b-1),(b-2),(b-3)分别是Ⅱ类第8帧图像基于最大最小值映射、统计特性拉伸和直方图均衡结果

Fig.3 Results of two image sequences contrast enhancement (a-1), (a-2), (a-3) are the results of the thirteen frame of sequence I, while (b-1), (b-2), (b-3) are the results of the eighth frame of sequence II. -1 is the minimum maximum method, -2 is the mean and variance method, and -3 is the histogram equalization method

从图3可以看出,基于统计特征的图像增强方法效果明显要比基于最大最小值的方法好,特别是在目标灰度比较低的情形下大大提高了目标的对比度。其效果与直方图均衡相比基本相当,对于目标

灰度比较低的情形甚至高于后者。而且基于统计特征的图像增强方法比直方图均衡要简单，更容易DSP实现，实时性也更好。

下面考察经过图像增强前后目标信噪比(SNR)的变化。信噪比是根据目标灰度均值及其周围某个窗口内的背景灰度均值和标准差计算出来的，计算公式为： $SNR = (s - \mu_w) / \sigma_w$ ，这里 s 、 μ_w 、 σ_w 分别为目标平均灰度、某窗口内背景灰度均值和标准差。本文窗口选为整幅图像。表1给出了原始数据(Ori)和最大最小值拉伸(Minmax)、统计特性拉伸(Sta)和直方图均衡(HE)三种对比度增强后图像的相关参数值。

表1 原始图像和增强后图像相关参数

Table 1 Parameters for original images and enhanced images

Parameters	Sequence I/Sequence II			
	Ori	Minmax	Sta	HE
Global mean	855.6/609.1	53.24/30.22	127.7/127.6	104.6/118.3
Global standard deviation	41.64/28.52	8.613/5.323	41.52/41.22	81.67/89.42
Target mean gray level	949/622	73/33	223/147	253.95/158.6
Global SNR	2.24/0.45	2.29/0.52	2.30/0.47	1.83/0.45

从表1可以看出，目标灰度中等以及较弱时，灰度映射方法不会损失图像的信噪比，比原始图像

略有提高，这也说明该方法的确抑制了部分起伏的背景。而直方图均衡方法则损失了部分的信噪比。

上述实验结果说明基于图像统计特性的自适应图像增强方法不损失图像信噪比就可以达到直方图均衡的对比度效果，而且实现也比后者更简单。

5 结 论

依据实际采集数据，本文首先分析了图像序列的数字特征。结果表明图像灰度分布具有高斯特性，其均值和方差具有时间平稳特性。在此基础上，提出了一种基于统计特征的对比度增强方法。与直方图均衡方法相比，该方法不仅具有不损失图像信噪比、对比度高、实现简单的特点，而且该算法可以并行，实时性很好，在某地基监测系统中的应用中取得了较好的效果。

参考文献

- [1] 孙即祥. 数字图像处理[M]. 石家庄: 河北教育出版社, 1993
- [2] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image processing, analysis, and Machine vision 2nd [M]. New Jersey: Thomson Learning and PT Press, 1999
- [3] 向键勇, 徐军. 一种实用的红外图像分割算法研究[J]. 西安电子科技大学学报, 1997, 24(3): 416~420

A Practical Adaptive Contrast Enhancement Method of the Visible Image

HU Mou-fa CHEN Zeng-ping

(ATR Key Laboratory National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Based on the first and the second order of image statistics characteristics, the adaptive visible image contrast enhancement method is presented. According to the analysis of the visible images statistics characteristics, It can obtain the two time-domain stabilizing characteristics, the mean and the standard deviation of image sequences, and based on them, image contrast is enhanced in gray-level domain. Results show that the method effectively improves image contrast and restrains some background clutter. In visual quality, the method is better than the contrast enhancement based on minimum and maximum of image gray-level and histogram equalization method. And the method can be realized very easily.

Key words contrast enhancement; adaptive gray-level transform; time domain stabilization; Gauss distribution

论文降重、修改、代写请扫码



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 一种新的基于模糊对比度的路面图像增强方法](#)
- [2. 一种低对比度可见光超视距成像的实时图像增强方法](#)
- [3. 一种抗噪的红外图像对比度增强方法](#)
- [4. 一种低对比度红外图像增强方法](#)
- [5. 一种基于EMD的对比度增强方法](#)
- [6. 声呐图像局部对比度增强方法](#)
- [7. 一种基于小波变换的低对比度图像增强方法](#)
- [8. 一种低对比度图像的增强处理方法](#)
- [9. 一种高效地修正Retinex图像自适应对比度增强算法](#)
- [10. 一种自适应图像增强方法及其应用](#)