

# 一种适应于远程红外监控的图像增强方法

夏永泉, 董向滢, 王慧敏

(郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**针对远距离捕获的红外图像对比度低、亮度低以及感兴趣的目标比较小等问题,提出了一种新的自适应直方图均衡的方法.该方法利用图像直方图的2种不同信息,自动生成混合累积直方图,达到对红外图像进行自动均衡化的目的.试验结果表明,该方法可以有效地提高红外图像的对比度,对红外图像中小目标的增强效果更为明显.

**关键词:**远程红外图像监控;直方图均衡;混合累积直方图

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2012.06.021

## An image enhancement approach for long-range surveillance based on infrared

XIA Yong-quan, DONG Xiang-ying, WANG Hui-min

(College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The infrared images that are captured at long range usually have low contrast, low brightness, and small hot objects of interest. A novel adaptive histogram-based equalization was put forward to enhance the contrast of infrared images in order to overcome the defects of infrared image itself. It can automatically generate a hybrid cumulative histogram based on two different pieces of information about the image histogram. The proposed adaptive equalization approach can automatically realize image equalization. Experimental results demonstrated that the approach proposed in this paper can improve the contrast of infrared images, and the effect is more obvious to the small objects embedded in infrared images.

**Key words:** long-range infrared image surveillance; histogram equalization; hybrid cumulative histogram

## 0 引言

近年来红外图像广泛应用于军事、医疗、工业等各个领域,其中最重要的一项应用是远程监控.然而,远距离捕获的红外图像具有对比度低、亮度低,以及感兴趣的目标比较小的特点.对于提升远程红外监控设备的性能来说,提高红外图像质量十

分必要.一般来说,红外图像包括一些感兴趣的目标点和许多背景区域.在远程红外监控图像中,不仅缺少先验信息,而且包含许多噪声、杂波以及固定的非目标物体<sup>[1-2]</sup>,由于感兴趣的目标比较小,所以在红外图像中区分感兴趣的目标和背景区域是十分困难的.本文拟提出一种包含混合累积直方图的自适应直方图均衡化方法来克服红外图像自身

收稿日期:2012-09-24

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAK01A38);河南高校青年骨干教师资助计划项目(2010GGJS-114);郑州轻工业学院博士基金项目(2007BSJJ005)

作者简介:夏永泉(1972—),男,辽宁省绥中县人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为图像处理、计算机视觉、模式识别与人工智能.

存在的缺点,并提高图像增强的可靠性、鲁棒性和自适应性。

## 1 直方图均衡化

直方图均衡化是一种常用的图像增强方法,它根据图像的累积直方图<sup>[3]</sup>进行灰度调整,以达到增强图像的效果。其灰度级调整方法是:在直方图中,像素数多而且分布密集的灰度级之间的间隔变大,使对比度得到提高;像素数少、分布较稀疏的灰度级间的间隔变小,甚至为0(灰度级被合并),降低对比度。若用该方法对红外图像进行增强处理,将会导致背景和噪声的灰度级偏多,而目标的灰度级偏少,这相当于提高了背景和噪声的对比度,反而降低了目标的对比度。为了克服直方图均衡化算法的不足,本文提出基于混合累积直方图的自适应直方图均衡化算法。该算法包括2个阶段,分别为自适应阈值选择和混合累积直方图的生成。第一阶段选择合适的阈值,用于将直方图分为热物体部分和背景部分;第二阶段以直方图的2种不同信息为基础,生成2种不同的累积直方图,一个增强热物体,另外一个增强背景。

## 2 自适应阈值的选择

文献[4-5]介绍了大量阈值选择方法并根据图像信息进行归类,比如直方图形状、空间聚类尺寸、熵、物体属性、空间相关性和局部灰度面。由于固定阈值不适合修正不同红外图像的对象,所以采用迭代阈值的方法<sup>[6]</sup>来自适应地选择阈值。该方法步骤如下:

1) 选择一个初始阈值  $Th(1)$  ( $0 < Th(1) < 255$ )。

2) 利用选择的阈值  $Th$  对图像进行分割,根据图像像素的灰度值,可以将图像分割为背景和目标2个部分。

3) 第  $k$  次迭代,计算  $\mu_B(k)$  和  $\mu_O(k)$ , 分别代表背景和目标的灰度级。

$$\mu_B = \frac{\sum_{(i,j) \in \text{背景}} f(i,j)}{N_B}$$

$$\mu_O = \frac{\sum_{(i,j) \in \text{目标}} f(i,j)}{N_O}$$

这里  $N_B$  和  $N_O$  分别代表背景和目标的像素数目。

4) 计算第  $k+1$  次迭代得到的新阈值

$$Th(k+1) = \frac{\mu_B(k) + \mu_O(k)}{2}$$

5) 如果  $Th(k+1) = Th(k)$ , 则停止迭代,选择出的阈值为  $Th$ ; 否则,返回执行步骤2)。

## 3 混合累积直方图的生成

与大面积背景区域相比,直方图均衡化对小目标的增强效果不那么明显。为了克服直方图均衡的这种不足,提出基于混合累积直方图的自适应直方图均衡化的方法,它的主要优势是对小目标和背景产生2种增强效果:对小目标的强效果和对背景的弱效果。生成混合累积直方图的过程如下。

首先定义均衡的累积直方图(如公式①)以及相关参数。

$$T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$k = 0, 1, \dots, L-1 \quad \text{①}$$

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad \text{②}$$

$$S_k = \text{int}((L-1) \cdot T(r_k)) \quad \text{③}$$

其中,  $r_k$  表示源图像直方图的灰度,  $k$  表示灰度级,  $n$  是图像的总像素数,  $n_k$  是灰度级为  $r_k$  的像素数量,  $p_r(r_k)$  是灰度级为  $r_k$  的概率,  $S_k$  是已处理图像直方图的像素灰度,灰度级数目  $L = 256$ ,  $T(r_k)$  是源图像产生的均衡的累积直方图,  $\text{int}()$  是取整函数。

基于自适应选择的阈值  $Th$ , 该直方图被分为2部分:像素灰度小于  $Th$  属于背景部分;像素灰度大于  $Th$  的部分属于热目标。用背景直方图概率密度函数(PDF)(函数表达式为④)来建立混合累积直方图。为提高对小目标的增强效果,定义强度密度函数(IDF)(函数表达式为⑥)。式⑥中的对数函数可防止对小目标的增强效果过强。使用小目标直方图的 IDF 产生增强小目标的累积直方图(式⑤)。由表达式④和⑤可以构建混合累积直方图。

$$T_{hb}(r_k) = \begin{cases} \sum_{j=0}^k \text{Arg min}\{p_r(r_j), p_r(r_{Th})\} & 0 \leq k < Th \\ \sum_{j=Th}^k p_r(r_j) \times \log_2 j & Th \leq k \leq L-1 \end{cases} \quad \text{④}$$

$$IDF = p_r(r_k) \times \log_2 k \quad 0 \leq k \leq L-1 \quad \text{⑤}$$

其中,  $T_{hb}(r_k)$  是混合累积直方图,  $p_r(r_{Th})$  是像

素灰度级为  $Th$  的概率.

表达式 ④ 是将概率  $p_r(r_j)$  和  $p_r(r_{Th})$  的最小值求和,生成背景的累积直方图;表达式 ⑤ 是将概率  $p_r(r_j)$  的 IDF 累加求和,生成热目标的累积直方图.

$\Delta y$  和  $\Delta x$  分别代表函数在  $Y$  轴和  $X$  轴上的增量,用  $\Delta y$  和  $\Delta x$  之比定义函数的导数. 其中,  $Y$  代表函数的输出变量,  $X$  代表函数的输入变量. 该导数代表了累积直方图的增强效果. 累积直方图的系数大,表示对图像增强的效果强;反之,增强效果弱.

将式 ① 与式 ④ 进行比较,当背景的灰度级是  $r_k$  时,很明显 ④ 的导数小于等于累积直方图的导数. ⑤ 代表小目标的累积直方图. 将式 ① 与式 ⑤ 比较,当小目标的灰度级是  $r_k$  时,⑤ 的导数大于等于 ① 的导数. 因此,小目标由累积直方图产生的增强效果更强,背景的增强效果更弱. 该结果由一阶导数的后向差分近似法基础上证明得到. 根据一阶导数的后向差分近似法,均衡的累积直方图一阶导数可以表述为

$$T'(r_k) = (T(r_k) - T(r_{k-1})) / (r_k - r_{k-1}) = (\sum_{j=0}^k p_r(r_j) - \sum_{j=1}^{k-1} p_r(r_j)) / 1 = p_r(r_k)$$

这里,  $T'(r_k)$  是累积直方图  $T(r_k)$  的一阶导数.

用同样的方法,混合累积直方图的一阶导数可以表述为

$$T'_{hb}(r_k) = (T_{hb}(r_k) - T_{hb}(r_{k-1})) / (r_k - r_{k-1}) = \begin{cases} \text{Arg min} \{ p_r(r_k), p_r(r_{Th}) \} & 0 < k < Th \\ p_r(r_k) \cdot \log_2 r_k & Th \leq k < L - 1 \end{cases}$$

这里,  $T'_{hb}(r_k)$  是 HCH  $T_{hb}(r_k)$  的一阶导数,如果背景的灰度级是  $r_k, 0 < k < Th$  时,则产生

$$\text{Arg min} \{ p_k(r_k), p_r(r_{Th}) \} \leq p_r(r_k)$$

所以,  $T'_{hb}(r_k) \leq T'(r_k)$ .

由混合累积直方图 ④ 对背景的增强效果小于等于由均衡的累积直方图产生的效果. 当目标的灰度级是  $r_k, Th \leq k < L - 1$  时,则产生  $p_r(r_k) \cdot \log_2 r_k \leq p_r(r_k)$ . 所以  $T'_{hb}(r_k) \geq T'(r_k)$ . 这说明由混合累积直方图 ⑤ 对目标的增强效果大于等于由均衡的累积直方图产生的效果. 由此得到结论,自适应直方图的增强效果大于等于由均衡的累积直方图产生的效果. 另外,自适应直方图均衡化对于背景的增强效果小于等于直方图均衡化的效果. 在小目标相对于背景区域非常小的情况下,这种方法

是十分有效的. 因此,本文提出的包含混合累积直方图的自适应直方图均衡化算法可以弥补直方图均衡化的不足.

此外,为了避免饱和和变换像素的均衡灰度级,变换像素的最大灰度级必须小于或等于灰度级的最大值. 自适应直方图均衡算法的标准化表示为

$$T_n(r_k) = T_{hb}(r_k) / T_{hb}(r_{L-1}) \quad 0 \leq k \leq L - 1$$

$T_n(r_k)$  是  $T_{hb}(r_k)$  的标准化形式. 该方法使用迭代阈值选择方法从而得到自适应阈值,它适用于各种红外图像的直方图.

### 4 试验结果

为了验证文中提出的方法,用红外灰度图像作为测试样本,图像中的每个像素用 8 个比特位表示,所以每个像素有 256 个灰度级. 图 1 所示为原始图像. 为了使红外图像中的小目标更容易、快速、准确地识别出来,必须对图像进行增强处理.

用自适应阈值选择方法对图 1 中的原始图像进行处理,处理结果见图 2,得到自适应选择的阈值  $Th = 37$ ;基于选择出的自适应阈值  $Th$ ,将原始图像分为背景和目标 2 个部分,用传统的直方图均衡化方法处理图 1,结果见图 3,利用本文提出的包含混合



图 1 原始图像



图 2 自适应阈值选择法处理结果 ( $Th = 37$ )

累积直方图的自适应直方图均衡方法的处理结果见图4.图5和图6分别是经过直方图均衡化以及改进方法处理后的图像的直方图.通过比较可以看出,对于小目标,改进的新方法比传统的直方图均衡化有更好的增强效果.



图3 直方图均衡化后的图像



图4 改进算法处理后的图像

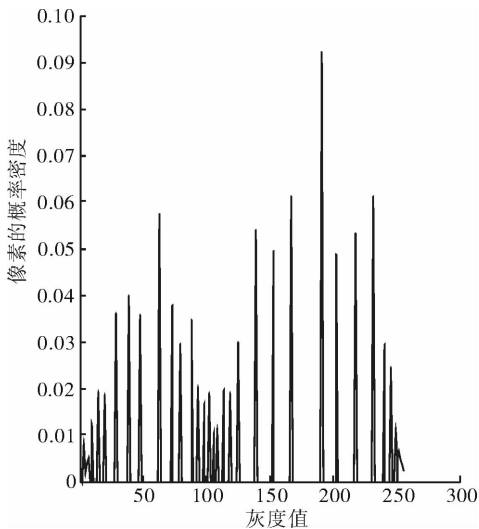


图5 均衡化后的直方图

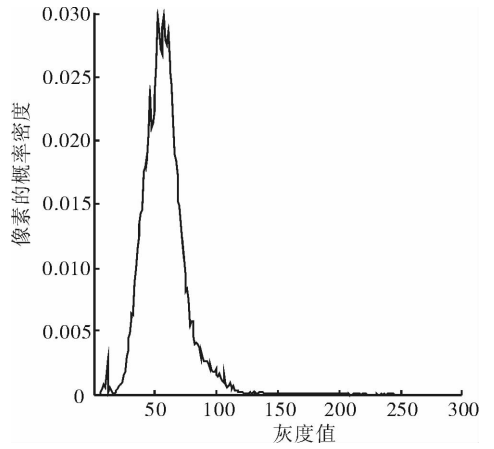


图6 改进算法的直方图

度低以及感兴趣的目标比较小等问题,提出了一种新颖的自适应直方图均衡的方法.该方法利用图像直方图的2种不同信息,自动生成混合累积直方图,达到对红外图像进行自动均衡化的目的,有效地提高了红外图像的质量.该方法有2个优势:1)含混合累积直方图的自适应直方图均衡方法是在直方图的概率密度函数和强度密度函数的基础上增强红外图像,与大背景相比,其对小物体的增强效果更强;2)使用该方法无需关于红外图像的先验信息,也无需手动预设参数.实验结果证明该方法可获得高质量的红外图像.

参考文献:

[1] Dawound A, Alam M S, Bal A, et al. Target tracking in infrared imagery using weighted composite reference function-based decision fusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2):404.

[2] Bal A, Alam M S. Automatic target tracking in FLIR image sequences using intensity variation function and template modeling[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 2005, 54(5):1846.

[3] 范新南,郭建甲.一种新的自适应工程图像分割算法[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(3):395.

[4] Qiao Yu, Hu Qingmao, Qian Guoyu, et al. Thresholding based on variance and intensity contrast[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(2):596.

[5] Bazi Y, Bruzzone L, Melgani F. Image thresholding based on the EM algorithm and the generalized Gaussian distribution[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(2):619.

[6] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision[M]. 2ed. New York: PWS Publishing, 1999: 128 - 130.

5 结论

本文针对远距离捕获的红外图像对比度低、亮