

基于广义直方图均衡的图像增强新方法

刘松涛^{1,2}, 吴 钢²

(1. 大连理工大学, 辽宁 大连 116024; 2. 海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018)

摘 要: 针对传统直方图均衡方法进行图像增强时导致图像细节信息丢失和噪声放大的问题, 提出了广义直方图均衡图像增强方法。传统直方图是基于整数1进行计数的, 广义直方图将整数1分解成2个值: 分数和余数, 通过对每个灰度级累积分数值和在所有灰度级均匀分配余数值生成。由于分数值控制着广义直方图均衡的效果, 图像中不同特性区域应该具有不同的分数值, 给出了基于局部复杂度计算的分数值求取方法。实验结果表明本方法能有效克服传统直方图均衡法丢失目标细节和过分放大噪声的不足, 是一种有效的图像增强方法。

关键词: 图像增强; 直方图均衡; 广义直方图; 局部复杂度

中图分类号: V243.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2010)03-0012-03

A Novel Method for Image Enhancement Based on Generalized Histogram

LIU Songtao^{1,2}, WU Gang²

(1. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: In order to solve the problems of image detail loss and noise magnification when using the traditional histogram equalization method, a novel method for image enhancement based on generalized histogram is proposed. In the traditional histogram the integer 1 is allocated to a pixel, but in the generalized histogram it is decomposed into two values of the fractional count and the remainder count, then the generalized histogram is generated by accumulating the fractional count for each intensity level and distributing the remainder count uniformly throughout the intensity levels. Since the effect of generalized histogram equalization depends on the fractional count, different image region should have different fractional count, thus the fractional count is given by computing local spatial complexity. The experimental results show that the proposed method can overcome the common histogram equalization method's shortcomings, and is an effective image enhancement method.

Key words: image enhancement; histogram equalization; generalized histogram; local spatial complexity

0 引言

利用图像增强技术, 可以使图像获得更佳视觉效果, 提高人眼对信息的辨别能力。同时, 增强后图像比原图像更适合于参数估计、图像分割和目标识别等后续图像分析工作。因此, 研究图像增强技术具有十分重要的意义。直方图均衡化是一种常用的图像增强方法^[1], 但是它会对图像质量产生两方面的负面影响:

- 1) 导致低频灰度级的合并, 从而导致图像细节丢失;
- 2) 导致图像噪声幅度增大。为了克服这两个问题, 学者们进行了一系列探索。R. B. Paranjape 提出了自适应邻域直方图, 采用变尺寸和变形状的窗口可以在图像增强的同时, 保留图像的细节信息^[2]。但是它需要对每一个像素都进行处理, 计算比较复杂, 还会引起块状效应。V. E. Vichers 提出了平台直方图算法, 实现该算法的关键是平台值的选择^[3]。V. E. Vichers 给出了一种迭代算法计算平台值, 但是该算法计算的平台值与初始条件关系很大, 计算量大, 不易实时实现。王炳健等给出了平台值自适应估计算法, 简化了平台值的选择^[4]。为了抑制图像增强时的噪声放大, 毛玉星等考虑到噪声和有效信号的主要区别在于这些像点的

收稿日期: 2008-12-23

修回日期: 2009-04-01

基金项目: 国家自然科学基金资助(60572160); 学院科研发展基金资助

作者简介: 刘松涛(1978—), 男, 河南孟津人, 博士, 主要研究方向为成像制导、图像处理、光电对抗等。

空间分布情况,提出了基于空间分布的红外图像直方图均衡算法^[5]。曾明等依据图像中不同区域的复杂度加权统计灰度级像素个数,解决图像的统计数据与信息量非相关问题^[6]。张志龙等提出了利用频率特性将图像的高频分量和低频分量分开,分别进行增强后再将两者融合的方法^[7]。上述这些算法都不同程度地解决了直方图均衡化方法的不足,但还没有完全解决直方图均衡算法导致图像细节信息丢失和噪声放大的问题。借鉴 B. W. Yoon 等给出的广义直方图定义^[8],本文给出了基于广义直方图均衡的图像增强新方法,它可以有效地克服直方图均衡化方法的不足,较好地解决了其在图像增强领域应用的难题。

1 直方图均衡方法

图像的直方图就是图像中任意灰度等级的像素个数。对于一幅数字图像 I ,直方图表示为

$$h(k) = \sum_{(u,v) \in I} \delta(x_w, k), k = 0, 1, \dots, Q-1 \quad (1)$$

其中: $\delta(k, l)$ 是克罗内克 δ 函数; Q 代表图像灰度级的个数。其归一化概率分布形式为 $p(k) = \frac{h(k)}{n}$, n 为图像中像素总数。

直方图均衡就是把一幅已知灰度概率分布的图像,经过某种变换,使之变成具有均匀概率分布的图像,从而使信息熵最大。直方图均衡变换函数表达式为

$$s_k = L \sum_{j=0}^k p(k), k = 0, 1, \dots, Q-1 \quad (2)$$

其中: L 代表输出图像灰度级的个数。

直方图均衡方法本质上是选择性地增强图像中占有较多像素的灰度而抑制占有较少像素的灰度。经过直方图均衡处理之后,占有较少像素的灰度被合并,其灰度范围被压缩,而占有较多像素的灰度范围被拉伸。通常图像中区域之间的边界占有较少像素,却包含着重要的结构信息,直方图均衡方法对于低频灰度的合并将导致图像细节的丢失,对图像的边界信息产生不利影响;另一方面,图像中往往含有各种类型的图像噪声,直方图均衡方法在拉伸高频灰度的动态范围时也会相应放大图像噪声。因此,传统的直方图均衡方法存在着图像细节信息丢失和噪声放大的缺点^[7]。

2 广义直方图均衡

从式(1)可以看出,每个灰度级出现一次计数加1,它对对比度增益的贡献是一个常数,与这个灰度级出现的位置无关^[8]。而理想情况是不同位置的区域特性不一样,那么同样灰度级的对比度增益贡献应该不一样。如果对某一灰度级的每个像素拥有相同增益,

当该灰度级像素数较多时,将导致过增强,而从视觉的角度,此时对比度增益较小才是合适的。当前提出的许多方法是通过修改直方图来解决这个问题的^[4]。和其他方法不一样,这里通过改变直方图定义来克服传统直方图均衡方法的不足。

2.1 广义直方图

传统直方图是基于整数1进行计数的,广义直方图将整数1分解成2个值:分数和余数,通过对每个灰度级累积分数值和在所有灰度级均匀分配余数值生成。由于仅有分数值控制每个灰度级的对比度增益,所以可根据区域特性改变分数值,从而调整对比度增益。引入广义直方图 $g(k)$ 代替 $h(k)$,表示式如下:

$$g(k) = \sum_{(u,v) \in I} (r_w \cdot \delta(x_w, k) + (1 - r_w) \cdot \frac{1}{Q}), \quad k = 0, 1, \dots, Q-1 \quad (3)$$

其中: $r_w \in [0, 1]$, 表示 (u, v) 像素位置处的分数计数。如果 $r_w = 1$, 图像中像素灰度的计数没有分开, 式(3)变为式(1)。因此,普通直方图是广义直方图的特例。从式(3)可以看出,分数值 r_w 通过增加对比度增益来增强图像对比度,余数值 $(1 - r_w)$ 通过均匀分布来保护图像对比度。因此,通过调整参数 r_w 可以控制是对比度增强,还是对比度保护。

广义直方图思想的核心是不再限制用整数1进行计数。使用分数代替整数1能自适应地减少对对比度增益过大。但是分数计数导致总的计数值减少,从而输出灰度范围变小。为了保持输出灰度范围,对余数应该进行分配。注意到,用分数代替整数1的目的是减少对对比度增益过大,那么余数的分配应该至少保持对比度不变。均匀分布意味着对所有灰度级的增益是相同的,也就保护了对比度不变,所以对余数采用均匀分布进行分配。

2.2 改进的分数计数方法

广义直方图求解的核心是计算分数值 r_w 。分数值 r_w 设计的原则是复杂度小(大)的区域要求对比度增益要小(大),对比度增益小(大)意味着分数值 r_w 要小(大)。可见,分数值 r_w 与不同区域的复杂度是紧密相关的。因此,首先需要找到一个能客观反映局部复杂度的测算因子。目前比较经典的测算因子有:标准方差、熵、灰度标准差和空间频率等。文献[8]提出了归一化平均绝对差,但从文末的实验可以看出,存在一定的局限性。研究发现,采用单一因子来表征图像的复杂度是不合适的^[9],为此,本文采用组合复杂度测算因子。实验测试表明,采用标准方差和熵的组合作为复杂度测算因子效果比较好。

组合复杂度因子的构造过程如下。

1) 测算局部 x 区的标准方差。局部 x 区的标准方差为

$$\sigma_x = \frac{1}{n^2} \sqrt{\sum_{s=i-(n-1)/2}^{i+(n-1)/2} \sum_{t=j-(n-1)/2}^{j+(n-1)/2} (x_{st} - m_{ij})^2} \quad (4)$$

其中: x_{st} 为 x 内位置在 (s, t) 点的灰度值; (i, j) 点为 x 区的中心点; m_{ij} 为 x 的灰度均值, 即 $m_{ij} = \frac{1}{n^2} \sum_{s=i-(n-1)/2}^{i+(n-1)/2} \sum_{t=j-(n-1)/2}^{j+(n-1)/2} x_{st}$ 。

$$\sum_{s=i-(n-1)/2}^{i+(n-1)/2} \sum_{t=j-(n-1)/2}^{j+(n-1)/2} x_{st}$$

2) 测算局部 x 区的熵。局部 x 区熵定义为

$$e_x = - \sum_{i=1}^l p_i * \log p_i \quad (5)$$

式中: l 为总的灰度级; p_i 为灰度等于 i 的像素数与局部图像总像素数的比值。

3) 测算局部 x 区组合复杂度因子。组合复杂度因子为

$$c_x = \sigma_x \times e_x \quad (6)$$

4) 将 x 区复杂度进行归一化处理, 得到:

$$c'_x = \frac{c_x}{\max(c_x)} \quad (7)$$

式中: $\max(c_x)$ 为整个图像中最大的组合复杂度因子。

为了体现复杂度因子的重要性, 同时保证分数值 $r_w \in [0, 1]$, 定义 r_w 如下:

$$r_w = 1 - e^{-\gamma c'_x} \quad (8)$$

其中: $\gamma > 0$, 随着 γ 增加, 复杂度差异引起分数值的变化加大, 从而使对比度增益的变化更加明显。可见, γ 参数和复杂度因子一起控制着对比度增益的变化, γ 参数可以人工控制, 复杂度因子随着图像的区域特性自动变化。

3 实验结果

选用多种不同类型的图像来分析本文算法的性能, 这里以一幅可见光图像 (见图 1) 和一幅红外图像 (见图 2) 为例进行说明。比较的算法包括: 全局直方图均衡方法、局部直方图均衡方法、文献 [8] 方法和本文方法。实验中, $\gamma = 10$, 局部 x 区的大小 $n = 3$ 。



图 1 可见光图像

图 2 红外图像

Fig. 1 Visible image

Fig. 2 Infrared image

可见光图像的实验结果如下: 图 3 为全局直方图均

衡的结果, 图像中的噪声被明显放大了, 而塔尖和房屋边缘变得模糊。图 4 为局部直方图均衡结果, 不仅噪声被放大, 多处区域出现了过增强现象, 比如天空区域。图 5 和图 6 为文献 [8] 方法和本文方法的结果, 两者的图像增强效果都比较明显, 且没有引入噪声, 但本文方法由于采用了新的分数值计数方法, 更能体现图像中的不同区域特性, 所以边缘更清晰, 对比度增强更明显。



图 3 图 1 的全局直方图均衡

Fig. 3 The global histogram equalization of Fig. 1



图 4 图 1 的局部直方图均衡

Fig. 4 The local histogram equalization of Fig. 1



图 5 图 1 的文献 [8] 方法结果

Fig. 5 The result of Fig. 1 processed by the method in paper [8]



图 6 图 1 的本文方法结果

Fig. 6 The result of Fig. 1 processed by the proposed method

红外图像的实验结果更能体现本文方法的优越性。图 7 ~ 图 10 分别为全局直方图均衡、局部直方图均衡、文献 [8] 方法和本文方法的结果。从海面杂波被明显放大的效果排序依次是图 7、图 9、图 8 和图 10; 从增强舰船目标、建筑物和天空对比度的效果排序依次是图 10、图 9、图 7 和图 8。很明显, 本文方法在增强目标的同时较好地抑制了海杂波的放大。

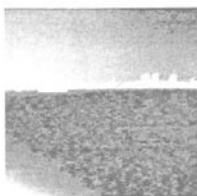


图 7 图 2 的全局直方图均衡

Fig. 7 The global histogram equalization of Fig. 2

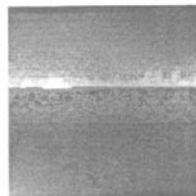


图 8 图 2 的局部直方图均衡

Fig. 8 The local histogram equalization of Fig. 2

(下转第 39 页)

了在不确定环境中自主侦察的能力。

参考文献

- [1] 张会军, 翟彬. 侦察打击一体化无人机关键技术分析[J]. 电光系统, 2007(3): 43-45.
- [2] 马向玲, 叶文, 范洪达. 飞机航路规划决策系统研究与开发[J]. 电光与控制, 2004, 11(2): 65-67.
- [3] 柳长安. 无人机航路规划方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003.
- [4] KABAMBA P T, MEERKOV S M, ZEITZ F H. Optimal path planning for Unmanned Combat Aerial Vehicles to defeat radar tracking[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2006, 29(2): 279-286.
- [5] WARD D G, SHARMA M, RICHARDS N D, et al. Intelligent control of unmanned air vehicles program summary and representative results[J]. AIAA, 2003, 26641: 1-10.
- [6] REICHARD K M, BANKS J, EDDIE C C, et al. Intelligent self-situational awareness for increased autonomy, reduced operational risk, and improved capability[J]. AIAA, 2005, 2692: 1-8.
- [7] 马东立, 韩莹. 航空综合体对地攻击作战效能评估方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(2): 198-200.
- [8] JIN Y, LIAO Y, POLYCARPOU M M, et al. Balancing search and target response in cooperative UVA teams[C]//Proc of the 43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2004: 2920-2929.
- [9] 杨遵, 雷虎民. 采用粒子群优化算法规划无人机侦察航路[J]. 电光与控制, 2007, 14(2): 4-7, 15.
- [10] 任博, 潘景余, 苏畅, 等. 不确定环境下的侦察无人机自主航路规划仿真[J]. 电光与控制, 2008, 15(1): 31-34, 46.
- [11] BERTSEKAS D P. Dynamic programming and optimal control: Volum 1[M]. 2nd ed. Belmont, Massachusetts: Athena Scientific, 2000.
- [12] 张毅, 王和平. 侦察-攻击作战航空综合体效能模型分析[J]. 飞机设计, 2007, 27(5): 31-34.
- [13] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.

(上接第14页)

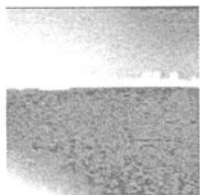


图9 图2的文献[8]方法结果

Fig. 9 The result of Fig. 2 processed by the method in paper [8]

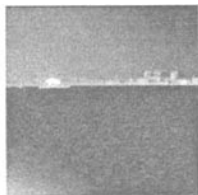


图10 图2的本文方法结果

Fig. 10 The result of Fig. 2 processed by the proposed method

4 结束语

针对传统直方图均衡方法进行图像增强时导致图像细节信息丢失和噪声放大的问题,提出了广义直方图均衡图像增强方法。广义直方图思想的核心是不再限制用整数1进行计数,将整数1分解成2个值:分数和余数,分数值通过增加对比度增益来增强图像对比度,余数值通过均匀分布来保护图像对比度。因此,通过调整分数值可以控制是对比度增强,还是对比度保护。基于局部复杂度给出了分数值的求取方法,这样图像中不同特性区域就具有不同的分数值,也就具有不同的增强效果,从而解决图像细节信息丢失和噪声放大的问题。文中的实验结果也充分表明,本文算法较其他算法更加有效和切实可行。但是,本文算法对可见光图像的增强效果明显好于对红外图像的增强效果,这是因为红外图像具有一些不同的特点,比如:像

素灰度值动态范围不大,目标只有很少的高灰度级像素,图像中存在大量噪声等;因此,根据这些特点需要继续研究广义直方图均衡对红外图像的增强问题。

参考文献

- [1] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [2] PARANJAPE B R. Adaptive neighborhood histogram equalization for image enhancement[J]. Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(3): 259-267.
- [3] VICHERS V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high quality infrared imagery[J]. Opt Eng, 1996, 35(7): 1921-1926.
- [4] 王炳健, 刘上乾, 拜丽萍. 红外图像实时增强的新算法[J]. 光电工程, 2006, 33(1): 46-49.
- [5] 毛玉星, 杨士中. 基于空间分布的红外图像直方图均衡算法[J]. 电路与系统学报, 2004, 9(6): 148-150.
- [6] 曾明, 张建勋, 王湘晖, 等. 基于视觉特性和复杂度加权处理的图像增强新算法[J]. 光电子·激光, 2005, 16(3): 363-367.
- [7] 张志龙, 李吉成, 沈振康. 一种保持图像细节的直方图均衡新算法[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(5): 36-38.
- [8] YOON B W, SONG W J. Image contrast enhancement based on the generalized histogram[J]. Journal of Electronic Imaging, 2007, 16(3): 033005(1-8).
- [9] CHENG H, XUE M, SHI X J. Contrast enhancement based on a novel homogeneity measurement[J]. Pattern Recognition, 2003(36): 2687-2697.