

基于平台直方图的红外图像自适应增强算法*

王炳健 刘上乾 周慧鑫 李庆

(西安电子科技大学技术物理学院, 西安 710071)

摘要 针对红外图像的特点,提出了一种基于平台直方图均衡化的自适应红外图像增强算法. 该算法通过自适应地选择平台阈值,对红外图像进行增强处理,克服了采用一般直方图均衡化增强红外图像的缺点,同时算法的运算量远远小于其他平台直方图均衡化算法,便于实时实现. 理论分析和仿真结果均表明,该算法对红外图像具有很好的增强效果,可较好的抑制背景的增强,突出目标.

关键词 自适应;平台直方图均衡化;红外图像增强;运算量小

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A

0 引言

红外图像是场景热辐射分布的成像. 由于场景中的目标与背景的温差相对较小,所以红外图像具有高背景、低反差的特点,其信噪比也较可见光图像的低. 为了能够从红外图像中正确地识别出目标,必须对红外图像进行增强处理^[1-7]. 直方图均衡化^[1]是一种常用的图像增强方法,它根据图像的累积直方图进行灰度调整,以达到增强图像的效果. 其灰度级调整策略^[2]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,使对比度得到了提高;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. 若用一般直方图均衡化对红外图像进行增强处理,将会导致背景和噪声占用的灰度级偏多,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. 所以,一般的直方图均衡化增强算法不适用于红外图像增强. 为了克服直方图均衡化算法的不足, Virgil E. Vichers^[3], Silverman J^[4,5]提出了直方图投影、平台直方图算法,其中,平台直方图算法是最有价值的算法,实现该算法的关键是平台值的选择. Virgil E. Vichers^[3]提出了一种迭代算法计算平台值,但是该算法计算出的平台值与初始条件关系很大,而且比较复杂,运算量大,不易实时实现. 因而,目前基本上是靠经验进行平台值的选择. 本文提出了一种基于直方图的自适应平台值选择方法,它根据图像的直方图,自适应地选择平台阈值,实现自适应平台直方图均衡化,增强目标.

1 自适应平台直方图均衡化

1.1 平台直方图均衡化

平台直方图^[3]是对直方图的一种修正. 它通过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 ,就保持不变. 即

$$P_T(k) = \begin{cases} P(k) & P(k) \leq T \\ T & P(k) > T \end{cases} \quad (1)$$

式中, k 表示图像的灰度级, $0 \leq k \leq 255$; $P_T(k)$ 是图像的平台直方图; $P(k)$ 是图像的统计直方图; T 为平台阈值.

由式(1)可知,当 $T \rightarrow \infty$ 时,对 $\forall k \in [0, 255]$, 有 $P_T(k) = P(k)$, 即平台直方图演化为统计直方图. 因此,统计直方图是平台直方图的一种特殊形式.

平台直方图均衡化与直方图均衡化相似,不同的是:直方图均衡化,是由统计直方图得到图像的累积直方图;而平台直方图均衡化,是由平台直方图得到图像的累积直方图. 然后,通过累积直方图对图像的灰度重新分配,得到均衡化的图像. 即

$$F_T(k) = \sum_{j=0}^k P_T(j) \quad (0 \leq k \leq 255) \quad (2)$$

$$D_T(k) = \lfloor \frac{255 F_T(k)}{F_T(255)} \rfloor \quad (3)$$

$F_T(k)$ 为图像的累积直方图; $D_T(k)$ 是灰度为 k 的像素经过平台直方图均衡化后的灰度值, $0 \leq D_T(k) \leq 255$; $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取整.

1.2 Virgil E. Vichers 平台值迭代算法

对于直方图所有高于平台值的位置,相邻两个显示灰度的期望间隔为 G , $G = D_T(k) - D_T(k-1)$, 对于所有的,且 $P_T(k-1) = T$;在式(3)中,忽略 $\lfloor \cdot \rfloor$, 可以得到

$$G = \frac{256T}{F_T(255)} \quad (4)$$

由于不可能直接准确的确定 G 的值,故一般采用 G 的期望值. 假定 G 的期望值为 G_{desired} , 则平台值可以采用下面的迭代方式计算得到

*国家自然科学基金(编号 60377034)资助项目
Tel:029-88202573 Email:w_bingjian@163.com
收稿日期:2003-12-05

$$T_n = \lfloor F_{T_{n-1}}(255)G_{\text{desired}}/256 \rfloor \quad (5)$$

$$T_0 = T_{\text{max}}$$

计算采用取整方式,可使收敛速度很快. Virgil E. Vichers 认为一般情况下, G 的取值为: $\{1/4, 1/3, 1/2, 1, 2\}$, $G=1$ 是一个很好的上限选择.

1.3 自适应平台阈值的选择及其算法

在红外图像平台直方图均衡化增强算法中,平台值选择是一个关键. 平台值选得合适与否,将直接影响到该算法对图像的增强效果,选择了不合适的平台值,不但不能增强图像,甚至会降低图像质量. 此外,一个平台值,对某幅图像或某类图像处理效果较好,而对另一幅或另一类图像处理效果较差. 因此,在实际的红外图像处理过程中,需要能够依据具体的红外图像,自适应的选择平台值.

由式(1)可知,当平台值 T 足够大时(大于直方图的主峰值),对 $\forall k \in [0, 255], P_T(k) = P(k)$, 平台直方图均衡化演化为直方图均衡化. 因此,选择的平台值必须小于直方图的主峰值 $P(k_B)$ (对应于图像中的背景),同时,为了能够更好突出目标,而不削弱目标,则平台值必须大于等于直方图中对应于目标的峰值 $P(k_0)$. 据此,本文提出了一种平台值自适应估计算法,具体算法为:1) 统计原图像的直方图 $P(k), 0 \leq k \leq 255$, 取出统计直方图中的非零单元,构成集合 $\{F(l) | 0 \leq l \leq L\}$, L 为 $P(k)$ 中非零单元的个数;2) 对 $F(l)$ 进行 3 邻域的一维中值滤波;3) 找出 $F(l)$ 局部最大值和整体最大值: 对 中值滤波后的非零单元进行一阶差分运算, $F^{(1)}(m) = F(m) - F(m-1), 1 \leq m \leq L$, 找出 $F(l)$ 中满足下列

条件的 $F(l_i), |F^{(1)}(m)| < \min\{|F^{(1)}(m-1)|, |F^{(1)}(m+1)|\}$, 同时 $F^{(1)}(m-1) < 0, F^{(1)}(m+1) > 0$, 则 $F(l_i)$ 为局部最大值, 其中 $0 \leq l_i \leq L, 0 \leq i \leq N, N$ 为局部最大值的个数. 然后,由 $F(l_i)$ 求出整体最大值 $F(l_k)$;4) 求出子集 $\{F(l_i) | k \leq i \leq N\}$ 中的中值 $F(l_k), F(l_k)$ 即为估计的平台阈值,对图像进行平台直方图均衡化处理.

2 两种算法比较

本文从运算量和增强效果两个方面对 Virgil E. Vichers 迭代算法和本文算法进行比较.

2.1 算法运算量比较

Virgil E. Vichers 迭代算法的运算量:

如果图像的灰度级数为 N , 每次迭代的运算量为 $2(N+2)$. 设算法收敛所需的迭代次数为 P (一般情况下都不小于 3), 则算法总的运算量为 $2P(N+2)$.

本算法的运算量:

如果灰度级数为 N , 设直方图中极大值个数为 $M (M < N)$, 最大值之后有 K 个极大值(一般情况下, 图像直方图中的极大值不会超过 $10\%N$), 则本算法的运算量为: $4N + M - 6 + K(3K - 2)/8$ (K 为偶数); $4N + M - 6 + 3(K^2 - 1)/8$ (K 为奇数).

如对图 1(a) 红外图像, $N = 256$, 本文算法的运算量为 1144 ($M = 18, K = 17$), 得到的平台值为 131; 表 1 为在不同 G 值的情况下, 用 Virgil E. Vichers 迭代算法计算得到的平台值、迭代次数及与本文算法运算量的比较. 由表 1 可以看出, 平台值与选择的

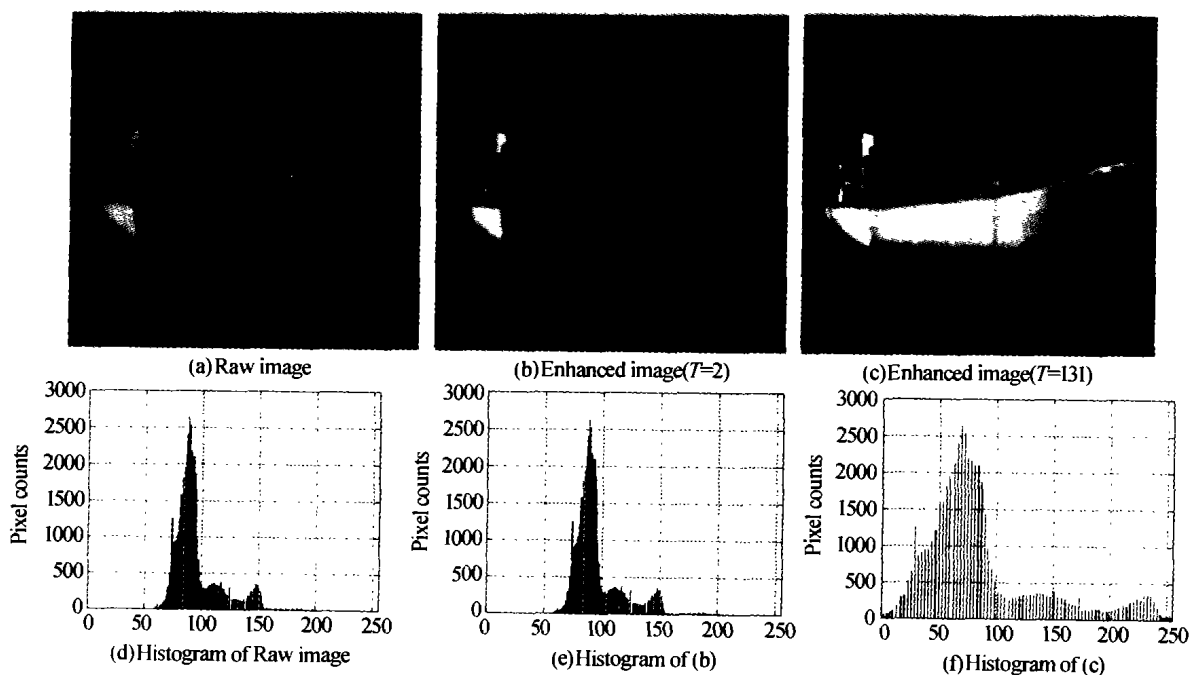


图 1 原图、不同平台阈值的增强图像及其直方图

Fig. 1 Raw image, enhanced image by different plateau value and their histogram

初始值有很大关系,随着 G 的增大,迭代次数增加,运算量也随之增加. Virgil E. Vichers 算法的最小迭代次数为 4,运算量为 2064,是本文算法运算量的 1.8 倍,最大运算量是本文算法的 4.9 倍. 因此,本文算法的运算量远远小于 Virgil E. Vichers 迭代算法的运算量.

表 1 图 1(a) Virgil E. Vichers 迭代算法与本算法运算量的比较

G	平台值	迭代次数	运算量	与本算法运算量之差	与本算法运算量之比
0.25	1	4	2064	920	1.8
0.5	1	5	2580	1436	2.3
1	2	7	3612	2468	3.2
2	14	12	6192	5048	4.4
3	121	13	6708	5564	4.9

2.2 算法视觉效果比较

人眼视觉理论^[6]认为,当平均亮度适中时,能分辨的亮度上、下限之比为 1000:1;而当平均亮度较低时,该比值只有 10:1;同时,由人眼的视觉和人的心理特性可知,变化幅度较大,细节丰富的区域容易引起人眼的注意,而变化平坦的区域则不容易注意.

本文对一幅红外图像,分别用 Virgil E. Vichers 算法得到的平台值($G=1, T=2$)、本文算法得到的平台值($T=131$)进行平台直方图均衡化图像增强处理,得到的增强图像及其直方图如图 1 所示. 观察图像(b)、(c),图(c)的对比度高于图(b),同时图(c)的亮度也更高. 因此,由人眼的视觉特性可知,图(c)更易于被人眼观察,视觉效果更好. 观察它们的直方图,在灰度级范围上,比原直方图都大,而图(f)比图(e)的灰度间隔大,这也表明图(c)的增强效果更好.

Self-adaptive Contrast Enhancement Algorithm for Infrared Images Based on Plateau Histogram

Wang Bingjian, Liu Shangqian, Zhou Huixin, Li Qing

School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071

Received date: 2003-12-05

Abstract In this paper, a new self-adaptive contrast enhancement algorithm for infrared images is presented based on plateau histogram equalization. By self-adaptively selecting threshold value, this algorithm can enhance objects efficiently, and constrain the background and noises greatly in infrared images. With the proposed method, the disadvantages of histogram equalization are overcome, and large computational amount decreased greatly compared to other plateau histogram equalization algorithm while achieving high contrast. Theory analysis and experiments show that it is an effective enhancement algorithm for infrared images.

Keywords Self-adaptive plateau histogram equalization; Image enhancement; Small computational amount

Wang Bingjian was born in 1977. He graduated from Xidian University with master degree in 2002 and now studies for doctor degree in Xidian University. He is interested in real-time infrared image processing.



3 结论

理论和仿真结果表明,本文提出的基于平台直方图均衡化的自适应红外图像增强算法,通过自适应的选择平台阈值,增强目标,它克服了一般直方图均衡化算法缺点,同时降低了迭代算法计算平台值的运算量,有利于实时实现;而且,利用本文算法计算的平台值,对图像的增强效果要优于通过迭代算法得到的平台值对图像的增强效果.

参考文献

- 章毓晋. 图像处理与分析(上). 北京:清华大学出版社, 1999. 77~79
Zhang Y J. Image Process and Analysis. Beijing: TsingHua University Press, 1999. 77~79
- 刘志才,李志广. 红外热像仪图像处理技术综述. 红外技术, 2000, 22(6): 27~32
Liu Z C, Li Z G. *Infrared Technology*, 2000, 22(6): 27~32
- Vichers V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery. *Opt Eng*, 1996, 35(7): 1921~1926
- Silverman J. Signal processing algorithms for display and enhancement of IR images. *SPIE*, 1993, 2020: 440~450
- Silverman J. Display and enhancement of infrared images. *Electro-Optical Displays*, New York: M. A. Karim, 1992. 585~651
- 贾永红. 计算机图像处理与分析. 武汉:武汉大学出版社, 2001. 9~11
Jia Y H. Computer Image Process and Analysis. Wuhan: WuHan University Press, 2001. 9~11
- 张锋,蒋一峰,陈真诚,等. 对一种新的基于局部标准差的自适应对比度增强算法的评价. 光子学报, 2003, 32(8): 989~992
Zhang F, Jiang Y F, Chen Z C, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(8): 989~992