

文章编号: 1001-3806(2012)03-0307-05

基于直方图均衡的空间需求优化方法

王宗俐 常佳 蒋晓阳 李冰寒
(凯迈(洛阳)测控有限公司, 洛阳 471009)

摘要: 为了解决平台法直方图增强算法中出现的“斑块”问题,提出了基于统计与累积空间复用和无损压缩统计的方法。经理论分析和实验验证,新算法对内存的需求比经典直方图均衡降低85%以上,且时间复杂度与经典直方图均衡算法相比属于同一量级。结果表明,此优化方法将平台法直方图均衡所需的处理空间进行了大幅度压缩,解决了红外实时成像系统中因处理芯片运行内存不足而导致算法难以实现的问题,较好地达到了实际应用要求。

关键词: 图像处理; 平台法直方图均衡; 无损压缩; 有效灰度级

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.03.005

Optimized method for space requirements based on histogram equalization

WANG Zong-li, CHANG Jia, JIANG Xiao-yang, LI Bing-han
(CAMA(Luoyang) Measurements & Controls Co. Ltd., Luoyang 471009, China)

Abstract: In order to solve the “mosaic” problem in plateau histogram enhancement algorithms, a novel method was proposed based on statistics, reuse of accumulated space and lossless compression. After theoretical analysis and simulation, the new algorithm reduces memory requirement more than 85%, but the time complexity keeps the same level as the original plateau histogram equalization. As a result, the processing space of plateau histogram equalization is greatly compressed by this improved algorithm, the difficulty of algorithm realization caused by the shortage of running memory of operating chips in infrared real time imaging system is solved and the requirements of practical application are achieved.

Key words: image processing; plateau histogram equalization; losses compression; available gray level

引言

红外图像是场景热辐射分布的成像,其成像过程由于受到目标辐射特性、红外传输特性、红外探测特性和环境因素的影响,成像质量远远低于可见光图像,不像可见光图像那样具有丰富的层次,更多地表现出高背景、低反差、低信噪比的特点。红外图像的这些特点给正常观察和功能性应用带来困难,因此需要实时对其进行对比度增强处理,目前常用的对比度增强算法有自适应线性拉伸法和平台法直方图均衡。

1 平台法直方图均衡算法

平台法直方图均衡^[1-4]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 ,在对图像直方图统计时,做如(1)式所示的修正。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:

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

$$P(k) = n_k \quad (k = 0, 1, 2, \dots, L) \quad (2)$$

式中 n_k 为图像中所有像素值为 k 的像元总个数, L 是最高灰度级, P_T 是图像的平台直方图, P 是图像的统计直方图, T 为平台阈值, k 表示原始图像的灰度级。平台法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,而平台法直方图均衡化是由平台法直方图得到图像的累积直方图,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:

$$F_T(k) = \sum_{i=0}^k P_T(i) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, L) \quad (3)$$

$$D_T(k) = \left\lfloor \frac{255 \times F_T(k)}{F_T(L)} \right\rfloor \quad (k = 0, 1, 2, \dots, L) \quad (4)$$

式中 F_T 为图像的累积直方图, D_T 是灰度为 k 的像素经过平台法直方图均衡化后的灰度值, L 为统计域的最大灰度级, $0 \leq D_T(k) \leq 255$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取整^[1]。

平台法直方图均衡原理简单,且可平衡像素数较少和较多的灰度级^[5-6],非常适用于红外成像的增强处理。但是在实际应用中易产生“斑块”问题,在中低温差场景

作者简介: 王宗俐(1971-),女,高级工程师,现主要从事红外图像处理、目标跟踪识别方法的研究及应用。

E-mail: clwzl@163.com

收稿日期: 2011-07-11; 收到修改稿日期: 2011-10-09

中尤其明显。本文中通过分析问题产生原因,提出了一系列优化直方图均衡计算流程的方法,对算法在嵌入式系统,尤其在数字信号处理(digital signal processing, DSP)和现场可编程门阵列(field programmable gate array, FPGA)中的应用起到了很好的改善作用。

2 斑块产生原因

通常用于采集红外探测器输出信号的模数转换器(analog digital, AD)为14位(甚至更高)数字图像处理作为常见的算法处理器件,其内部随机存取存储器(random access memory, RAM)空间一般最大为1兆字节(Mbyte, MB),剔除图像缓存和程序等所剩无几;而直方图均衡算法需要至少64千字节(kbyte, kB)内存空间。故其实现过程中常用压缩统计:若原始灰度级为16384级,系统仅对其进行4096级统计,即将原始相邻4级合并为1级进行统计,以此方式将需要的临时内存空间减为原来的1/4,甚至更小。下面分析此方式在各类温差场景中的成像效果。

2.1 中低温差场景

场景内温差较小,一般为纯背景,其原始成像区域较窄(一般为几十个灰度级),压缩后只有10个灰度级左右,原始图像数据的渐变区域被分割为若干明显的层次,在成像上反映即为斑块效果(见图1和图2)。

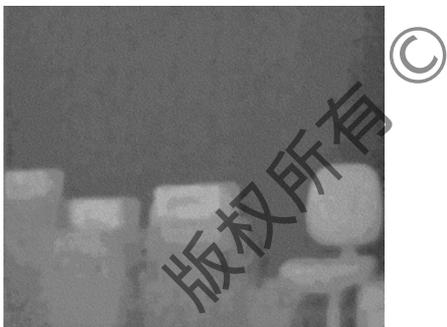


Fig. 1 Imaging effect of histogram equalization after 4 times compression of statistic region

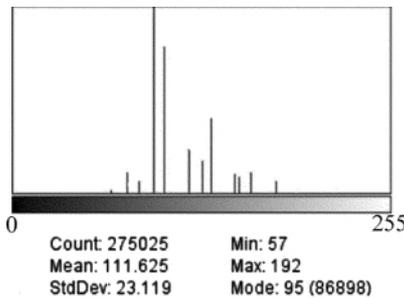


Fig. 2 Histogram gray distribution of Fig. 1

2.2 高温差场景

高温差场景的一般特点是场景中存在冷、热物体,如室外等复杂场景,其原始16384级图像经直方图均衡映射至256级灰度域的成像效果如图3所示。由于

原始数据域较宽(一般大于200级),限于人类视觉系统对灰度等级的分辨能力极限在30级~40级之间,在将16384级统计域压缩4倍后,再经直方图均衡映射至256级灰度域的成像效果如图4所示。图5和图6分别为16384级直方图均衡的统计直方图和统计域压缩4倍进行直方图均衡的统计直方图。由图可见,统计域压缩4倍进行直方图均衡的成像效果与未经压缩的原始图像在观感上没有差别,而且它们的统计直方图几乎一致。由此可知,统计域压缩4倍对高温差场景的成像效果和统计直方图影响较小。



Fig. 3 Imaging effect of histogram statistics for 16384 levels

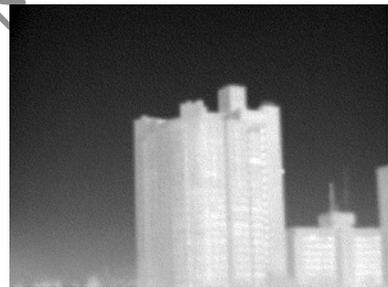


Fig. 4 Imaging effect of histogram equalization after 4 times compression of statistic region

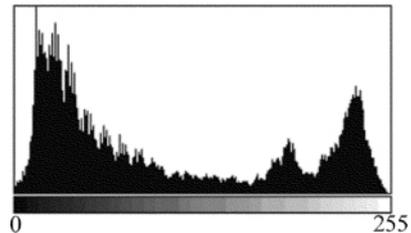


Fig. 5 Histogram gray distribution of Fig. 3

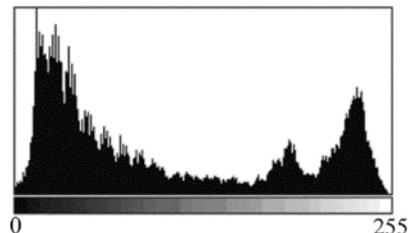


Fig. 6 Histogram gray distribution of Fig. 4

3 解决方法

3.1 解决思路

根据斑块产生原因,解决方法考虑兼顾中低对比度和高对比度成像质量,同时将需要内存减至最小,可

从以下两方法着手。

3.1.1 统计与累积直方图复用法 根据(3)式推导可得:

$$F_T(k) = \sum_{i=0}^k P_T(i) = \sum_{i=0}^{k-1} P_T(i) + P_T(k) \quad (k > 0) \quad (5)$$

可知,当前第 k 级累积直方图可由第 $k-1$ 级累积直方图与第 k 级平台直方图相加得到,从而得到下式:

$$F_T(k) = \begin{cases} P_T(k) & (k = 0) \\ F_T(k-1) + P_T(k) & (k > 0) \end{cases} \quad (6)$$

根据(6)式,在实际中可将平台直方图复用为累积直方图,从而节省原先一半内存。

3.1.2 统计域无损压缩法 由于探测器自身性质和光学系统限制,场景中热辐射转换为数字信号后的范围远低于采样精度决定的总范围(如 14 位精度确定范围为 $2^{14} = 16384$),常见的高温差场景(冰火共存)其范围也远小于 16384,故可对(3)式、(4)式做如下变换得到:

$$P(k') = n_{k'} \quad (k' = k - k_{\min}, k = k_{\min}, \dots, k_{\max}) \quad (7)$$

$$F_T(k') = \sum_{i=0}^{k'} P_T(i) \quad (k' = k - k_{\min}, k = k_{\min}, \dots, k_{\max}) \quad (8)$$

$$D_T(k) = \left\lfloor \frac{255 \times F_T(k - k_{\min})}{F_T(k_{\max})} \right\rfloor \quad (k = k_{\min}, \dots, k_{\max}) \quad (9)$$

式中 k_{\max} 为当前图像最大灰度值, k_{\min} 为当前图像最小灰度值亦即偏移值。通过上述公式可看出,只需占用 $(k_{\max} - k_{\min}) \times 32$ 位(简记为 bit)大小的内存空间即可,考虑到极限情况,可用固定值替代。

3.2 实现方法

结合上节中介绍的思路,采用如下 4 个步骤进行优化:计算图像灰度域→直方图统计→直方图累积→直方图均衡。步骤 1,计算图像最大、最小灰度级以及灰度域宽和偏移值;步骤 2,运用(7)式和步骤 1 得到的偏移值对图像进行直方图统计;步骤 3,运用(6)式和(8)式对步骤 2 得到的统计直方图在其所在内存空间直接进行累积;步骤 4,运用(9)式将原图像像素灰度值转换为累积直方图对应灰度级,并得到最终均衡后灰度。

4 数值实验

4.1 实验过程

本实验中采用某型 384×288 非制冷探测器作为前端热辐射信号收集设备,并采用 14 位高精度模数转换器用于模/数转换,后端处理电路为复杂可编程逻辑器件(complex programmable logic device, CPLD) + DSP 架构,其中 DSP 负责图像算法处理。

首先应用 PC 机 CCS 开发套件连接仿真器,从 DSP 获取仅经过非均匀性校正的 14 位图像数据,然后应用 VC++ 平台^[7-8]和 OPENCV^[9-11]图像处理库,对数据进行标准平台直方图算法和优化算法仿真,记录处理后图像、相关数据和处理时间,PC 机配置为 Core2 Quad Q8300 2.5GHz 和 4G 内存。

4.2 实验结果

4.2.1 空间需求 优化算法对内存空间的需求比标准平台法直方图减少了 90% 以上,比实际常用的有损压缩式平台法直方图均衡减少了 75% 以上,具体如表 1 所示。

Table 1 Comparison of temporary memory among standard plateau histogram equalization algorithm, plateau histogram equalization after 4 times compression and the optimized algorithm

	standard plateau histogram equalization	4 times compression of plateau histogram equalization	the optimized algorithm
memory requirement	128kbytes	32kbytes	8kbytes
description	16384 gray levels statistic and histogram accumulation need 16384 × 4 bytes memory	1/4 of standard algorithm	with lossless compression and reuse of memory, the optimized algorithm needs 2048 × 4 bytes memory

4.2.2 时间需求 3 种算法的基本计算操作如表 2 所示,在 PC 机上的仿真消耗时间如表 3 所示。相比于标准直方图均衡算法需进行 16384 级统计,本优化算法始终对 2048 级直方图进行统计,但考虑到处理过

程中需两次遍历图像数据,将原始灰度值映射为 2048 级直方图对应灰度级,故本优化算法与标准平台法直方图均衡算法时间复杂度比值约在 1:1 至 3:1 间,此比值与原始图像灰度域宽度成正比关系。

Table 2 Comparison of basic computational operation among standard plateau histogram equalization algorithm ,plateau histogram equalization after 4 times compression and the optimized algorithm

algorithm	standard plateau histogram equalization	4 times compression of plateau histogram equalization	the optimized algorithm
available gray level calculation of histogram	none	none	histogram traversal
statistic of histogram	image traversal + plateau comparison	image traversal + comparison operation + shift operation	image traversal + comparison operation + add operation
accumulation of histogram	16384 gray level accumulation	4096 gray level accumulation	2048 gray level accumulation
histogram mapping	image traversal + multiply and add operation	image traversal + multiply and add operation + shift operation	image traversal + multiply and add operation + add operation

Table 3 Comparison of consuming time on PC among the three algorithms

algorithm	standard plateau histogram equalization	4 times compression of plateau histogram equalization	the optimized algorithm
time used/ms	4.289	4.214	3.992

4.2.3 成像效果对比 下面给出标准平台法直方图均衡、4 倍压缩平台法直方图均衡以及本文中提出的优化算法的成像效果对比。图 7 是原始 16384 级直方图统计结果,图 8、图 9 分别是标准平台法直方图均衡的成像效果及其 256 级直方图统计,图 10、图 11 中分别给出了 4 倍压缩的平台法直方图均衡的成像效果及其 256 级直方图统计,图 12、图 13 分别是本文中提出的优化算法的成像效果及其 256 级直方图统计。由图像效果看,优化算法处理后的成像效果等同于标准平台法直方图均衡和 4 倍压缩平台直方图均衡,而由统计结果看,优化算法所得图像的对比度与标准平台法直方图均衡较为相似,从而可优化算法并没有降低图像质量。

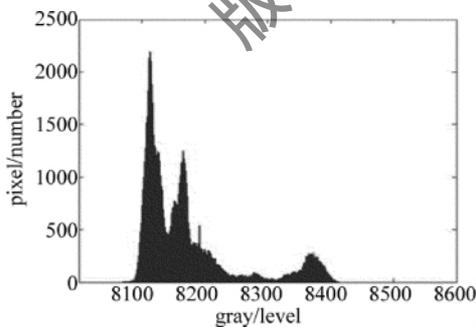


Fig. 7 Histogram statistics of original 16384 levels



Fig. 8 Imaging effect of standard plateau histogram equalization

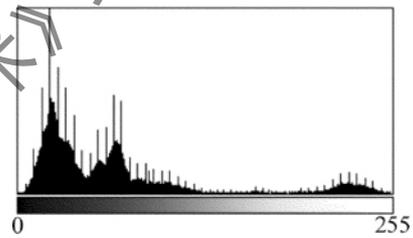


Fig. 9 Histogram after standard plateau histogram equalization



Fig. 10 Imaging effect of the plateau histogram equalization after 4 times compression

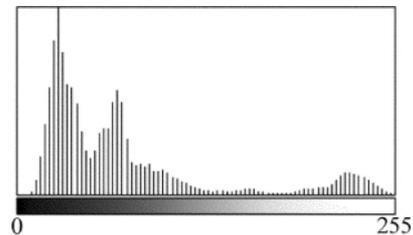


Fig. 11 Histogram of the plateau histogram equalization after 4 times compression



Fig. 12 Imaging effect of the optimized algorithm

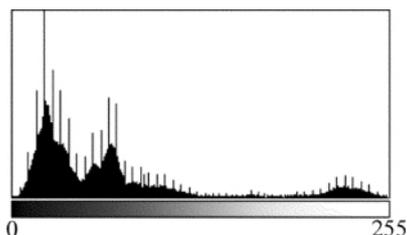


Fig. 13 Histogram of the optimized algorithm

5 结论

该算法经过理论推导与仿真实验证明切实可行,其处理所需内存空间大幅度减小,且处理后的图像质量等同于标准平台直方图均衡效果,同时算法处理速度快,十分适用于基于 DSP/FPGA 等片内内存较小的实时成像系统。

参考文献

- [1] VICHERS V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery [J]. *Optimized Engineering*, 1996, 35(7): 1921-1926.
- [2] GONZALEZ R C, RICHARD E W. *Digital image processing* [M]. 2nd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002: 287-290.
- [3] WANG B J, LIU Sh Q, ZHOU H X, *et al.* Self-adaptive contrast

enhancement algorithm for infrared images based on plateau histogram [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(2): 299-301 (in Chinese).

- [4] LIU Zh C, LI Zh G. A review on image process technique of thermal imager [J]. *Infrared Technology*, 2000, 22(6): 27-32 (in Chinese).
- [5] LAI R, YANG Y T, WANG B J, *et al.* A quantitative measure based infrared image enhancement algorithm using plateau histogram [J]. *Optics Communications*, 2010, 283(21): 4283-4286.
- [6] CHANDRASHEKAR M, NARESH K U, SUDERSHAN R K, *et al.* FPGA implementation of high speed infrared image enhancement [J]. *International Journal of Electronic Engineering Research*, 2009, 1(3): 279-285.
- [7] MUNTEANU C, ROSA A. Gray-scale image enhancement as an automatic process driven by evolution [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 2004, 34(10): 1292-1298.
- [8] BRADSKI G, KAEHLER A. *Learning OpenCV: computer vision with the OpenCV library* [M]. Sebastopol, California, USA: O'Reilly Media, 2008: 151-161.
- [9] GADY A. *Introduction to programming with OpenCV* [M]. Chicago, USA: Illinois Institute of Technology, 2006: 132-189.
- [10] LAGANIERE R. *OpenCV2 computer vision application programming cookbook* [M]. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2011: 268-298.
- [11] LIU H T, WANG Zh Zh, LI Ch, *et al.* Numerical simulation analysis for detectability of spaceborne lidars [J]. *Laser Technology*, 2008, 32(6): 614-617 (in Chinese).

(上接第 306 页)

计有利于前后牙齿的滑动并更容易使弓丝入槽,保证了前牙转矩控制可靠性及前后牙滑动关闭间隙的灵活性。因此,采用选区激光熔化直接制造方法,可以根据个性差异实现定制化舌侧托槽的制造,而且制造精度高,使托槽可以尽量贴合牙表面,能够满足个性化舌侧矫治设计要求。

参考文献

- [1] MUMTAZ K A, ERASENTHIRAN P, HOPKINSON N. High density selective laser melting of waspaloy [J]. *Journal of Materials Processing Technology* 2008, 195(1/3): 77-87.
- [2] KRUTHA J P, FROYENB L, van VAGERBERGHA J. Selective laser melting of iron-based powder [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, 149(1/3): 616-622.
- [3] SHAPACK N, GERON S, FLORIS I. Bracket placement in lingual vs labial systems and direct vs indirect bonding [J]. *Angle Orthodontist*, 2007, 77(3): 509-517.
- [4] PAULS A H. Therapeutic accuracy of individualized brackets in lingual orthodontics [J]. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 2010, 71(5): 348-361.

- [5] WU W H, YANG Y Q, WANG H W, *et al.* Research on direct rapid manufacturing of 316L fine metal part using fiber laser [J]. *Laser Technology* 2009, 33(5): 486-489 (in Chinese).
- [6] MORGAN R, SUTCLIFFE C J, O'NEILL W. Density analysis of direct metal laser re-melted 316L stainless steel cubic primitives [J]. *Journal of Materials Science*, 2004, 39(4): 1195-1205.
- [7] WIECHMANN D. A new bracket system for lingual orthodontic treatment [J]. *Journal of Orofacial Orthopedics* 2002, 63(3): 234-245.
- [8] WIECHMANN D, RUMMEL V, THALHEIM A. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment [J]. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2003, 124(5): 593-599.
- [9] DING Y, XU B H. Characteristics and applications of personalized lingual orthodontic technology [J]. *Chinese Journal of Orthodontics*, 2007, 14(3): 138-139 (in Chinese).
- [10] HE X R, YANG Y Q, KONG W D, *et al.* Direct manufacturing of customized crowns and fixed bridge by selective laser melting [J]. *Laser Technology* 2010, 34(1): 1-4 (in Chinese).
- [11] YANG Y Q, HE X R, HUANG W H, *et al.* Direct manufacturing of customized orthopedics surgery orienting model by selective laser melting [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, 36(12): 2460-2464 (in Chinese).