

子块重叠局部直方图均衡算法的优化研究

贾 鹏, 李江勇

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:子块重叠局部直方图均衡算法是一种有效的图像细节增强算法,它将大幅红外图像分解为多个小幅图像,并对每个小幅图像进行单独的直方图增强,然后通过“叠加”等处理,解决不同局部模块直方图增强后的“块效应”,提高整体视觉效果。由于要对每一个小幅图像进行单独处理,因此需要完成的运算量大,处理时间长。通过研究子块重叠局部直方图均衡算法的优化处理,来减少算法的处理时间,提高算法的工作效率。

关键词:图像增强;直方图均衡;子块重叠算法

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.12.014

Research on optimizing the algorithm of partially overlapped sub-block histogram equalization

JIA Peng, LI Jiang-yong

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The algorithm of partially overlapped sub-block histogram equalization is an effective algorithm for image enhancement. Firstly, the infrared image is divided into many small sub-images, and then each of these small sub-images is enhanced by histogram equalization. These processes will result in mosaic effect, and the mosaic will be solved with special processing. Because every small sub-image is processed separately, it will take a long time to finish the work. This paper researches the optimizing algorithm of partially overlapped sub-block histogram equalization. It reduces the processing time to a large scale and improves the working efficiency.

Key words: image enhancement; histogram equalization; the algorithm of partially overlapped sub-block histogram equalization

1 引 言

在实际应用中,常常需要对图像的局部细节特征进行增强。为了解决这类问题,需要根据所关心区域的局部特性来计算变换函数,以得到所需要的增强效果^[1]。子块重叠局部直方图均衡算法正是基于这一思想,对图像的局部细节特征进行增强。但是算法的总体运算量大,处理时间长。经仿真,一幅 576×480 大小的图像,采用子块重叠局部直方图均衡算法进行增强处理,需耗时1700多秒,无法满足正常工程应用。本文基于此提出了对子块重叠局部直方图均衡算法的优化处理,以提高算法的工作效率,提升算法的应用价值。

2 子块重叠局部直方图均衡算法

子块重叠局部直方图均衡算法是一种有效的图像细节增强算法^[2]。它是将大幅红外图像分解为多个小幅图像,并对每个小幅图像进行单独的直方图增强,然后通过“叠加”等处理,解决不同局部模块直方图增强后的“块效应”,提高整体视觉效果,足够大地增强图像的对比度,充分再现数字图像的局部细节^[3]。

作者简介:贾鹏(1984-),男,硕士,主要从事FPGA硬件和软件的设计工作。E-mail:jackypeng0831@126.com

收稿日期:2012-03-14; **修订日期:**2012-03-27

2.1 算法介绍

子块重叠局部直方图均衡算法的思路是^[4]:

(1) 对于一幅 $M \times N$ 输入图像, 定义一个 $M \times N$ 输出图像矩阵和一个 $M \times N$ 的累加次数矩阵, 并全部赋值为 0。

(2) 定义一个大小为 $w \times h$ 的滑动窗口, 并设其沿水平和垂直方向移动步长分别为 a 和 b , 将滑动窗口置于图像的左上角。

(3) 对滑动窗口当前所覆盖的子块图像进行直方图均衡处理, 并将均衡后的结果累加到输出图像矩阵对应像素位置上, 同时累加次数矩阵对应位置加 1。

(4) 将滑动窗向右移动步长 a , 若滑动窗没有超出图像边界, 则转到步骤(3)。否则, 转到下一步。

(5) 将滑动窗向下移动步长 b , 若滑动窗没有超出图像边界, 则转到步骤(3)。否则, 转到下一步。

(6) 将输出图像矩阵除以累加次数矩阵, 所得结果即为最终的输出图像。

2.2 算法特点

子块重叠局部直方图均衡算法的特点是:

(1) 滑动窗口 $w \times h$ 的大小选择是很重要的, 如果选择太大就失去了局部的特点; 但如果选择太小, 计算量就会非常大^[5]。

(2) 由于子块部分重叠方式减少了相邻子块间的均衡函数形状差异, 使“块效应”很大程度上得以减弱, 所以步长选择很重要, 步长 a 和 b 细分程度越高, “块效应”越不明显^[6]。特别地, 当 $a = 1, b = 1$ 时, 即滑动窗沿原图逐像素移动时, 将完全消除“块效应”, 如图 1 所示。

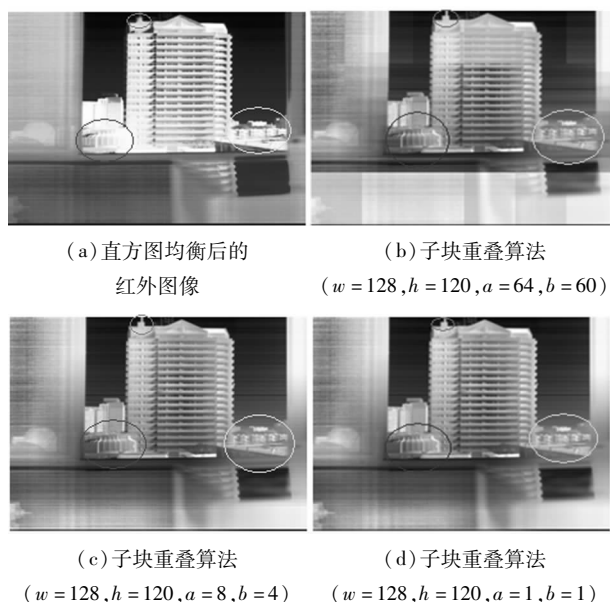


图 1 直方图均衡与子块重叠算法对比处理
576 × 480 的 12 位红外图像效果图

从图 1 可以看到, 采用子块重叠局部直方图均衡算法来增强 576 × 480 的红外图像, 比直方图均衡处理后的图像, 其局部细节特征得到了明显地增强, 图中标注的大楼楼顶的避雷针可以明显地看到, 大楼左下方的屋顶竖纹可以清晰分辨, 而右下方的楼群窗户也可以分辨出来。但是, 子块重叠算法会引起“块效应”的存在。为了达到最好的增强效果, 完全消除“块效应”造成的影响, 需要选择移动步长 $a = 1, b = 1$ 。

如图 1(d) 所示, 运用子块重叠局部直方图均衡算法的运算量为:

运用子块重叠算法总的统计直方图运算量 = $15360 \times 449 \times 361 \approx 2.49 \times 10^9$ 次

运用子块重叠算法总的累积直方图运算量最大值 = $4096 \times 449 \times 361 \approx 6.64 \times 10^8$ 次

运用子块重叠算法总的灰度映射运算量最大值 = $4096 \times 449 \times 361 \approx 6.64 \times 10^8$ 次

经仿真, 运用子块重叠局部直方图均衡算法增强 576 × 480 的红外图像运算量非常大, 处理时间长达 1700 多秒。因此必须对算法进行优化处理, 提高运算效率, 使得子块重叠局部直方图均衡算法既能够很好地增强图像, 又能够满足应用的时效性要求。

3 算法优化

在应用子块重叠局部直方图均衡算法增强红外图像时, 由于要对滑动窗口内的图像进行直方图均衡, 而直方图均衡的首要工作是先对图像进行直方图统计, 然后进行累积直方图计算, 根据累积直方图计算的结果进行灰度值映射, 从而实现红外图像在显示终端上的 8 位显示^[7]。由于滑动窗口是在水平方向和垂直方向移动相应的步长 a 和 b , 因而滑动窗口选中的红外图像实际只变动了一小部分, 大部分的红外图像没有改变。这样在进行直方图统计时就可以进行优化处理, 只统计变化部分的直方图, 就可以在滑动窗口未移动时计算的统计直方图基础上, 统计出新位置下图像的直方图。由于累积直方图的计算实际就是直方图的累加, 因此通过计算由于滑动窗口移动而造成变化部分的直方图, 也就能够通过相应的加减运算直接求出新位置下红外图像的累积直方图, 省略了对图像重叠部分进行直方图统计和累积直方图计算的操作, 大大减少了运算量, 从而能够更好地更快地完成子块图像的直方图均衡运算, 如图 2 所示。

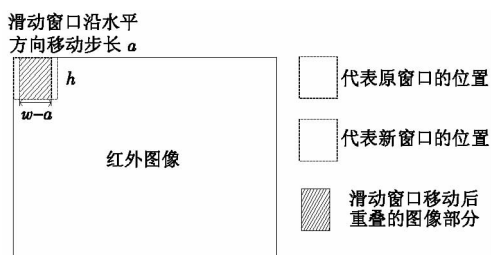


图2 沿水平方向移动滑动窗口示意图

图2中,当滑动窗口 $w \times h$ 沿水平方向移动步长 a 时,滑动窗口内的像素只改变了 h 行 a 列,即改变了 $a \times h$ 个像素。可以只统计这新增的 $a \times h$ 个像素的直方图分布: $P(j_0), P(j_1), P(j_2), \dots, P(j_i)$, 其中 $0 \leq i \leq L-1, L=4096$, 为原始图像的灰度级数;调用被移出滑动窗外的 $a \times h$ 个像素的直方图分布: $P'(j_0), P'(j_1), P'(j_2), \dots, P'(j_i)$, 以及原位置下子块图像的累积直方图: $F'(0), F'(1), \dots, F'(j_0), F'(j_1), F'(j_2), \dots, F'(j_i), \dots, F'(4095)$, 则滑动窗口移动后新位置下子块图像的累积直方图为:

$$F(0) = F'(0)$$

$$F(1) = F'(1)$$

.....

$$F(j_0 - 1) = F'(j_0 - 1)$$

$$F(j_0) = F'(j_0) + P(j_0) - P'(j_0)$$

$$F(j_1) = F'(j_1) + P(j_1) + P(j_0) - P'(j_1) - P'(j_0)$$

.....

$$F(j_1) = F'(j_i) + \sum_0^i P(j_s) - \sum_0^i P'(j_s)$$

.....

$$F(4095) = F'(4095) + \sum_0^i P(j_s) - \sum_0^i P'(j_s)$$

根据上式的计算可以看到,通过算法优化后可以减少 $(w-a) \times h$ 次直方图统计和 j_0 次累积直方图计算。同理,当滑动窗口 $w \times h$ 沿垂直方向移动步长 b 时,滑动窗口内只改变了 $b \times h$ 个像素,在进行直方图统计时,可以只统计这 $b \times h$ 个像素的直方图分布,然后去除移出滑动窗口外的 $b \times h$ 个像素的直方图分布,再加上相应灰度级下原始位置处求得的累积直方图值,即可得到新窗口位置对应灰度值下的累积直方图,减少了 $w \times (h-b)$ 次直方图统计和 j'_0 次累积直方图计算(其中 j'_0 为变化的最小灰度值)。

如果将滑动窗口 $w \times h$ 沿水平方向和沿垂直方向的移动变换做并行处理,即先对原始位置 A1 的图像进行直方图均衡处理,然后将滑动窗口 $w \times h$

同时沿水平方向移动到位置 A2、沿垂直方向移动到位置 A3,并分别与位置 A1 相比较,分别记录沿水平移动和沿垂直移动变化区域内的统计直方图,然后以计算位置 A1 的累积直方图为基础,分别对变化区域做相应的加减运算,则可同时完成新位置下 A2 和 A3 的图像累积直方图计算,从而可以方便计算相应位置下的灰度值变换,进一步提高子块重叠局部直方图均衡算法的运算效率。如此反复执行,则未优化子块重叠算法时,滑动窗口沿水平方向移动 1 行的处理时间,可以同时满足优化后的算法完成沿水平方向滑动处理 1 行和沿垂直方向滑动处理 1 行的操作,运算效率提高了一倍,从而可以大大缩短运算时间,具体示意图如图 3 所示。

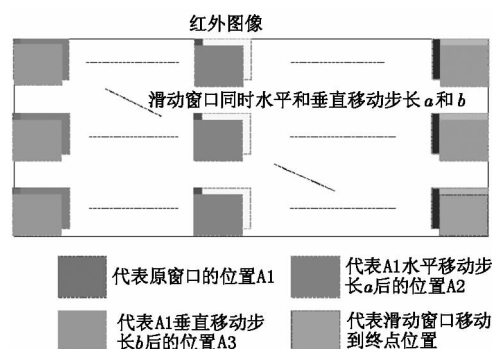


图3 子块重叠算法优化处理示意图

4 实验与分析

以图 1 的 576×480 的 12 位的红外图像采用优化后的子块重叠局部直方图均衡算法为例,滑动窗口的大小选择 128×120 , 移动步长 $a=1, b=1$, 采用优化后的子块重叠局部直方图均衡算法来增强红外图像,可以减少的运算量为:

滑动窗口 128×120 水平移动时变化的像素数 $= 1 \times 120 = 120$ 个

滑动窗口 128×120 垂直移动时变化的像素数 $= 1 \times 128 = 128$ 个

滑动窗口 128×120 沿水平方向从左到右移动 1 行的次数 $= (576 - 128) / 1 + 1 = 449$ 次

滑动窗口 128×120 沿垂直方向从上到下移动 1 列的次数 $= (480 - 120) / 1 + 1 = 361$ 次

滑动窗口 128×120 同时沿水平和垂直方向移动处理 1 行的次数 $= 449$ 次

滑动窗口 128×120 同时沿水平和垂直方向移动处理 1 列的次数 $= (361 - 1) / 2 = 180$ 次

假设每次滑动窗口移动后变化部分像素的灰度级数均各不相同,水平移动时变化的最小灰度值为

1928,垂直移动时变化的最小灰度值为1920,则采用优化后的子块重叠算法进行处理时,可以减少的运算量为:

减少的统计直方图运算量 = $(128 - 1) \times 120 \times 449 \times 181 + 128 \times (120 - 1) \times 449 \times 180 \approx 2.47 \times 10^9$ 次

减少的累积直方图运算量至少 = $1928 \times 449 \times 181 + 1920 \times 449 \times 180 \approx 3.12 \times 10^8$ 次

减少的灰度值映射运算量至少 = $1928 \times 449 \times 181 + 1920 \times 449 \times 180 \approx 3.12 \times 10^8$ 次

经仿真,利用优化后的子块重叠局部直方图均衡算法来处理大小为 576×480 的12位红外图像,处理时间为7s左右,相对于未优化时算法的处理时间1700多秒,提升的运算效率 η 为:

$$\eta = 1 - 7/1700 \approx 99.6\%$$

通过以上计算可以看出,采用优化后的子块重叠局部直方图均衡算法来处理红外图像,运算效率大大提升,时效性得到了极大地提高。

5 结 论

子块重叠局部直方图均衡算法对于增强图像的细节特征具有良好的效果,通过进行算法的优化处理,减少了算法中重复性的操作,提高了算法的运算效率,大大缩短了算法的运算时间,使得子块重叠局部直方图均衡算法能够很好地满足工程应用时效性的要求,最大程度提升了算法的应用价值。下一步工作考虑采用硬件处理实现子块重叠局部直方图均衡算法,争取达到实时增强图像的目的。

参考文献:

[1] Alex Stark J. Adaptive image contrast enhancement using

generalizations of histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9 (5): 889 - 896.

[2] Joungyoun Kim, Leesup Kim, Seungho Hwang. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11: 475 - 484.

[3] Soongder Chen, Abd Rahman Ramli. Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49: 1301 - 1309.

[4] Tian Yafei, Wu Fengjun, Wan Qingtao. Based on the brightness and maximize entropy to keep the local histogram equalization [J]. Microcomputer Information, 2008, 24(11): 283 - 284. (in Chinese)

田亚菲, 吴凤军, 万庆涛. 基于熵最大化和亮度保持的局部直方图均衡 [J]. 微计算机信息, 2008, 24(11): 283 - 284.

[5] R Dalejones, T Tjahjadi. A study and modification of local histogram equalization algorithm [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1373 - 1381.

[6] J D Fahnstock, R A Schowengerdt. Spatially variant contrast enhancement using local range modification [J]. Optical Eng, 1983, 22(3): 378 - 381.

[7] An Chengbin, Ren Hongliang, Nie Chuanhong, et al. Infrared image enhancement technology for staring infrared imager [J]. Laser & Infrared, 2003, 33(6): 455 - 458. (in Chinese)

安成斌, 任宏亮, 聂传虹, 等. 凝视焦平面热像仪的红外图像增强技术 [J]. 激光与红外, 2003, 33(6): 455 - 458.