

基于 FPGA 的实时图像改进直方图均衡化算法

王德俊^{1,2}, 王建立¹, 阴玉梅¹, 王鸣浩^{1,2}

(1 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 根据视频图像相邻两场直方图的高度相似性特点, 提出了改进直方图均衡化算法. 改进算法经过 MATLAB 仿真验证, 并在 FPGA 视频图像处理平台上硬件实现. 实验证明: 改进算法实现图像增强的同时简化了系统结构和逻辑设计复杂度, 节约 30% 的硬件成本, 满足视频图像处理的实时性要求.

关键词: 现场可编程门阵列; 直方图均衡化; 串行总线; 硬件描述语言

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)05-0087-03

Algorithm of Improved Histogram Equalization for Real-Time Image Based on FPGA

WANG De-jun^{1,2}, WANG Jian-li¹, YIN Yu-mei¹, WANG Ming-hao^{1,2}

(1 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 130039, China)

Abstract: According to the characteristics of the highly comparability of histogram by contiguous field of video image, an improved histogram equalization algorithm for video image processing system is proposed. This paper validates the improved histogram by using MATLAB emulation and implement it based on FPGA video image processing system. The experiment indicates that the improved algorithm realize iamge enhancement, predigests the structure of system and complexity of logistic design, saves thirty percents hardware cost and meets currently standard video image for the real-time requirement.

Key words: FPGA; histogram equalization; I2C; VHDL

1 引言

直方图均衡化算法是空域图像增强技术的重要算法, 是图像压缩、图像分割和图像识别等后续图像处理的基础, 在图像预处理技术中有广泛的应用^[1].

目前, 针对视频图像的直方图均衡化算法均采用高性能处理器和高速存储器结合的图像处理系统实现. 大量硬件存储资源的使用提高了逻辑设计复杂度和系统成本, 不满足视频图像处理的低成本要求.

文中根据视频图像相邻两场直方图的高度相似性和直方图均衡化算法特点, 改进视频图像直方图均衡化算法. 使用 MATLAB 完成仿真验证并在 FPGA

视频图像处理平台上硬件实现.

2 改进直方图均衡化算法和仿真验证

2.1 直方图均衡化算法原理

直方图均衡化是使用累积函数对灰度值进行调整, 把原图像的直方图变换为均匀分布的形式, 通过增加像素灰度值的动态范围达到增强图像整体对比度的效果.

对图像空间域点的增强通过函数 $t = EH(s)$ 完成, t, s 分别为目标图像和原图像在点 (x, y) 像素的灰度值, 在均衡化处理时, 增强函数 EH 需要满足两个条件:

收稿日期: 2009-04-14; 修回日期: 2009-06-14

基金项目: 国家“八六三”计划项目(2007AA703104)

增强函数 $EH(s)$ 在 $0 \leq s \leq L-1$ 的范围内是一个单调递增函数;

对 $0 \leq s \leq L-1$ 应有 $0 \leq EH(s) \leq L-1$.

第一个条件保证原图像各灰度级在增强处理后仍保持从黑到白(或从白到黑)排列次序,第二个条件保证增强处理后灰度值的动态范围的一致性. 累计分布函数满足上述条件且能将 s 的分布转换为 t 的均匀分布^[2].

$p_r(r)$ 和 $p_s(s)$ 分别代表图像变换前后的概率密度函数,由基本概率理论可得到 $p_s(s)$ 的表达式为

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| \quad (1)$$

由式(1)得到 $p_s(s)$ 中变量 s 表达式为

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw \quad (2)$$

因此, $\left| \frac{dr}{ds} \right|$ 表达式为

$$\left| \frac{dr}{ds} \right| = \frac{d}{dr} \left[\int_0^r p_r(w) dw \right] \quad (3)$$

将式(3)代入式(1)得 $p_s(s) = 1$, 由此可知 $p_s(s)$ 的结果始终服从均匀分布与 $p_r(r)$ 的形式无关.

应用于数字图像处理时,图像的直方图表达式为

$$p_s(s_k) = n_k/n, 0 \leq s_k \leq L-1; k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (4)$$

式中, $p_s(s_k)$ 代表原图像第 k 个灰度级出现的概率, n_k 代表相应灰度的像素个数, n 代表总的像素数. 以 n_k 为自变量, $p_s(s_k)$ 为函数得到的曲线就是数字图像的直方图^[3].

具体公式为

$$t_k = EH(s_k) = \sum_{j=1}^k n_j/n = \sum_{j=1}^k P_s(s_j), 0 \leq t_k, s_k \leq k; k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (5)$$

由式(5)可见,根据原图像直方图的统计规律可计算出均衡化后各像素的灰度值完成对数字图像的直方图均衡化处理^[4].

2.2 算法的改进和仿真验证

由直方图均衡化算法原理可知算法实现分为图像的直方图统计、均衡化和映射三部分. 在视频图像处理中,在场正程期需完成直方图的统计并存储图像数据,场消隐期完成直方图均衡化处理. 最后将存储的图像数据根据均衡化结果映射输出得到增强图像. 因此,目前图像处理系统均采用高性能处理器和高速存储器相结合,使用存储器的乒乓操作实现视

频图像直方图均衡化算法. 由于高性能存储器和乒乓操作技术的使用提高了逻辑设计复杂度和系统成本,不满足视频图像处理的工程化要求.

文中根据视频图像相邻两场直方图的高度相似性特点对算法进行改进. 在实现视频图像直方图均衡化算法时,直接将前一场图像直方图统计和均衡化结果作为当前场图像的映射数据输出. 以上方法避免了外部存储器的频繁读写操作,简化了系统结构和逻辑设计的复杂度,节省了运算时间. 降低了视频图像处理系统的硬件成本.

改进算法使用 MATLAB 完成功能仿真. 把一幅图像奇数行和偶数行数据分别作为视频图像的奇偶场,将奇场统计和均衡化结果作为偶场映射关系输出,偶场按照相同方法处理后将均衡化后奇偶场数据合成新图像. 实验表明:基于视频图像相邻两场图像直方图的相似性改进的直方图均衡化算法与直接对图像进行直方图均衡化得到图像熵值分别为 5.602bit 和 5.585bit,达到预期效果. 仿真结果如图 1 所示.

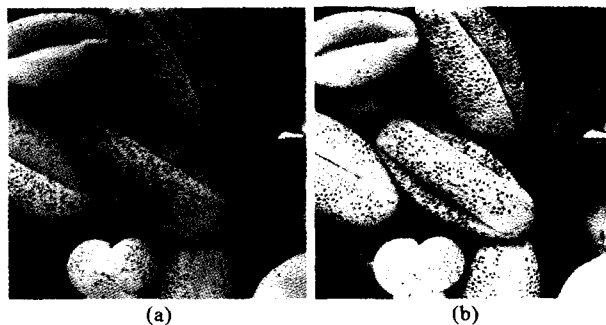


图 1 改进算法的 MATLAB 仿真图

3 直方图均衡化算法的 FPGA 硬件实现过程

3.1 改进算法针对 FPGA 实现的仿真优化

为满足视频图像处理的实时性要求并发挥 FPGA 在并行处理方面的优势,设计中对直方图均衡化算法采取以下优化措施^[5-6].

直方图均衡化算法需统计每场图像的直方图,在 FPGA 内使用 VHDL 语言编写直方图统计模块. 由于 FPGA 内实现浮点型数据运算相对复杂且消耗较多逻辑资源,在对图像进行直方图统计时将各灰度级像素点的个数作为直方图数据,避免使用浮点型数据运算. 对直方图进行均衡化处理,得到原灰度到均衡化后灰度映射关系表,在显示时按照新的映射关系对原图像各像素点进行映射,算法优化后

的公式为

$$t'_k = EH(s'_k) = \sum_{j=1}^k \frac{P_s(s_k) \times (L-1)}{n}, 0 \leq t_x, s_k \leq 1; k = 0, \dots, L-1 \quad (6)$$

式中, t'_k 对应原灰度级为 k 的像素均衡化后灰度值. t'_k 取整作为均衡化后的灰度值, 以上操作使数据范围从 $[0 \sim 1]$ 扩大到 $[0 \sim L-1]$, 避免浮点数操作的同时也保证了均衡化后灰度的精度. 算法中的乘法和除法运算可以利用 FPGA 中内嵌乘法器模块实现, 提高了运算速度同时节约了 FPGA 中的逻辑资源^[7]. 使原来需要多个 DSP 模块的 Stratix 以上型号 FPGA 完成的任务仅采用低成本的 Cyclone II 即能实现, 进一步节约了硬件成本.

改进算法利用 Altera 公司提供的 LPM 基本宏功能模块和 LogicLock 逻辑锁定技术在集成开发环境 QuartusII5.1 上完成仿真. 经以上优化后得到仿真结果如图 2 所示.

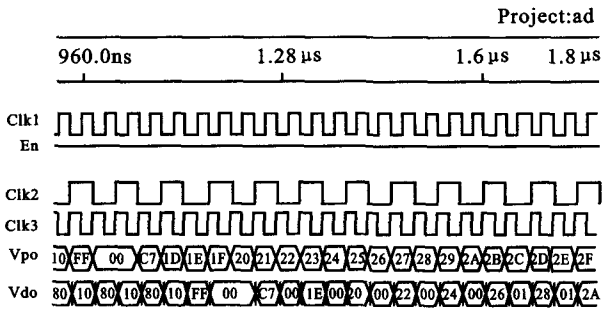


图 2 优化算法在 QuartusII5.1 的仿真图

3.2 实现改进算法的 FPGA 硬件平台

系统采用 Altera 公司 Cyclone II 芯片 EP2C5Q208C8 作为核心处理器, 利用 Cyclone II 内部集成锁相环和全局时钟网络灵活的管理时钟, 内嵌乘法器模块提高了 DSP 处理能力. 使用视频编解码芯片 SAA7121 和 SAA7113 完成模拟视频信号和数字视频信号之间的转换. CCD 模拟相机和监视器作为视频输入输出设备^[8]. 系统框图如图 3 所示.

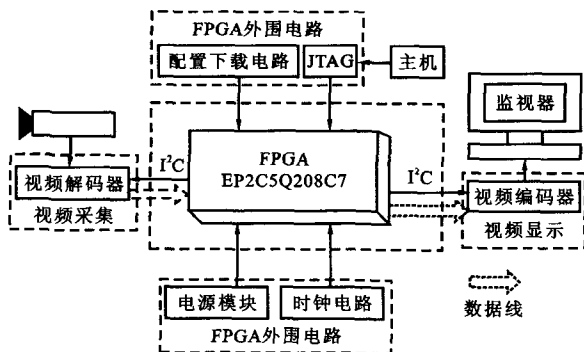


图 3 基于 FPGA 的图像处理平台

4 实验结果与分析

系统 QuartusII5.1 软件上完成仿真设计, 其中 FPGA 内部各软件模块使用硬件描述语言 VHDL 编写. 实验结果表明, 均衡化后图像动态范围增加, 图像对比度明显增强, 达到了预期效果. 实验获得的原视频图像和均衡化后图像及其各自直方图如图 4、图 5 所示.

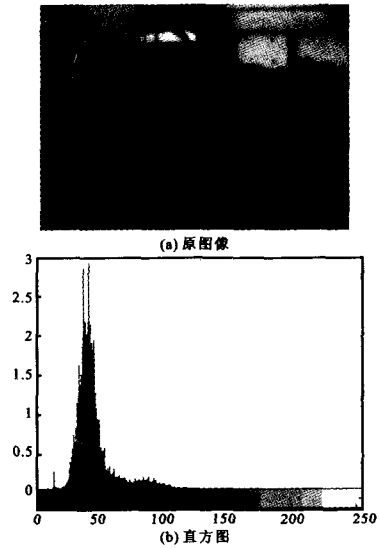


图 4 原图像及其直方图

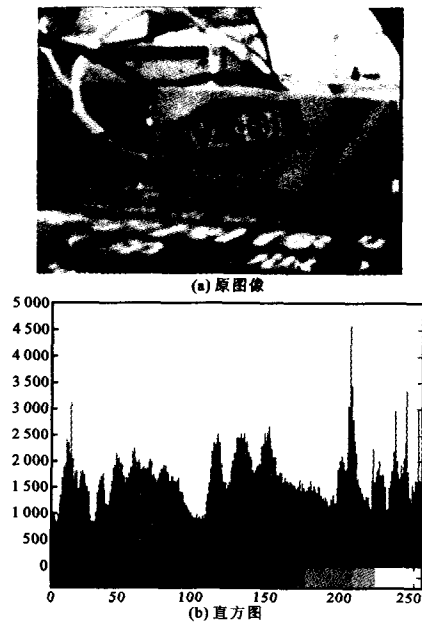


图 5 均衡化后图像及其直方图

5 结束语

文中利用视频图像相邻两场直方图的高度相似 (下转第 94 页)

陷,来减少类似的情况对其的限制,真正达到身份识别系统的要求.

7 结束语

为了解决角点定位不准和计算量过大而导致的定位时间过长等问题,提出了一种新的角点定位方法,该方法采用外切圆滚动的方式,通过判断外切圆与掌纹边缘线的交点个数,对角点的大致位置进行几次筛选,最终确定角点的精确位置,并在此基础上建立坐标系.最后以正方形内接圆的方式来提取 ROI 区域,结合掌纹特征及相关知识对纹线特征进行提取和匹配.实验的结果表明该角点检测算法不但能快速准确地对角点进行定位,而且能有效地提高匹配效率.

参考文献:

- [1] 王萌,阮秋琦.掌纹图像的获取及其预处理[J].计算机应用研究,2007,24(6):161-163.
- [2] 张磊,冯贵玉.一种新的掌纹图像感兴趣区域提取算法[J].计算机工程与应用,2007,43(8):40-42.
- [3] Nirupama Srinivasan, Evangelia micheli-tzanakou. palm print recognition: a new algorithm for corner detection using palm anatomy features[C]//International Workshop on

Measurement Systems for Homeland Security, Contraband Detection and Personal Safety. Alexandria, VA, United States: IEEE Press, 2006, 10(18/19): 6-9.

- [4] Kim Myoungcho, Kim Min, Lee Kwaehi. Localization method using vector histogram[C]//International Conference on Smart Manufacturing Application, Gyeonggi-do. South Korea: IEEE Press, 2008: 581-584.
- [5] Wang zhong, Hao Yan-Ling. Bisectional edge extraction algorithm based on mathematical morphology[J]. Journal Of Harbin Engineering University (S1006-7043), 2007, 28(10): 1116-1121.
- [6] Doublet Julien, Lepetit Olivier, Revenu Marinette. Contactless palmprint authentication using circular gabor filter and approximated string matching[C]//International Conference on Signal and Image Processing. Honolulu, United States: IEEE Press, 2007: 511-516.

作者简介:

李艳女,(1983-),硕士研究生.研究方向为数字图像处理、模式识别.

吴贵芳男,(1978-),博士,副教授.研究方向为数字图像处理、模式识别.

戴高乐男,(1985-),硕士研究生.研究方向为虚拟现实.

李继杰男,(1984-),硕士研究生.研究方向为图像处理.

(上接第 89 页)

性改进算法并在 FPGA 硬件平台上实现,为后续图像处理提供了基础.实验结果表明,该系统能够实时实现改进的直方图均衡化算法,验证了 MATLAB 前期仿真结果,达到了预期目标.

文中提出利用视频图像相邻两场直方图的高度相似性特点完成直方图均衡化算法的思想简化了系统结构和逻辑设计复杂度,节省了运算时间和 30% 的硬件成本.这一思想也可适用于与直方图相关的视频图像处理算法.

参考文献:

- [1] 李旭辉,慈林林,胡双演,等.低对比度图像增强算法研究[J].微电子学与计算机,2008,25(6):71-73.
- [2] 许廷发,秦庆旺,倪国强.基于 DM642 融合系统的 A Trous 小波实时图像融合算法[J].光学精密工程,2008,16(10):2045-2050.
- [3] 章毓晋.图像工程(上册)图像处理[M].2版.北京:清华大学出版社,2006:90-93.

[4] 周鲜成,申群太,王俊年.基于微粒群的图像增强算法研究[J].微电子学与计算机,2008,25(4):42-44.

[5] 吉伟,黄巾,杨靓,等.基于 FPGA 的 32 位浮点加法器设计[J].微电子学与计算机,2008,25(6):209-211.

[6] 童超,金庆辉,赵建龙.一种用于 POCT 的嵌入式实时图像采集处理系统[J].光学精密工程,2008,16(4):720-725.

[7] Amos Talmi. FarAway(r)-shoot video through haze, mist and smoke[J]. SPIE, 2005(5811):67-74.

[8] 贺明,王新赛. Nios II 的红外图像实时跟踪系统设计[J].电光与控制,2008,15(3):93-96.

作者简介:

王德俊男,(1984-),硕士研究生.研究方向为数字图像处理.

王建立男,(1971-),博士,研究员,博士生导师.研究方向为电跟踪控制技术.

阴玉梅女,(1960-),副研究员,高级实验师.研究方向为电磁兼容性.

王鸣浩男,(1981-),博士研究生.研究方向为数字图像处理.