

文章编号:1007-2780(2013)04-0604-04

机载嵌入式图像增强系统设计与实现

尹传历¹, 王啸哲²

(1. 中国科学院 航空光学成像与测量重点实验室, 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,
吉林 长春 130033, E-mail: yinchuanli_1979@163.com;
2. 清华大学 电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 针对传统直方图均衡化算法对比度增强容易过于强烈的缺点, 提出了一种基于对比度有效控制的快速图像增强算法, 首先统计直方图概率分布, 计算平均亮度, 然后采用自适应方法调整直方图分布, 最后计算灰度转换公式, 得到新灰度值。结合实际应用, 以高性能 DSP 芯片 TMS320C6455 作为中央处理器, 结合现场可编程门阵列 FPGA 构成外围电路逻辑控制, 搭建了嵌入式高速图像增强处理平台。基于该平台用真实图像验证了文章提出的算法, 实验结果表明, 本系统增强图像整体画面自然, 局部对比度明显, 有效地防止了过度增强对比度带来的违和感, 获得了较好的增强效果, 同时算法处理简单, 运算迅速, 能够满足工程项目的要求。

关 键 词: 图像增强; 嵌入式系统; 对比度; 直方图均衡化

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132804.0604

Design and Realization of Airborne Embedded Image Enhancement System

YIN Chuan-li¹, WANG Xiao-zhe²

(1. Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement,
Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: yinchuanli_1979@163.com;
2. Department of Electronic Engineering, Tsinghua University Beijing 100084, China)

Abstract: According to the disadvantage of too strongly contrast enhancement of traditional histogram equalization algorithm, a new image enhancement algorithm based on effective control of contrast was presented. First, the statistical histogram distribution and the average brightness were calculated. Then the histogram distribution is adjusted by the adaptive method. Finally the converting formula is calculated and the new bright values were obtained. An embedded high speed image enhancement processing system on high performance DSP TMS320DM6455 and FPGA was designed. Experimental results with real images showed that the system can naturally enhance overall image, the local contrast of the image is perfect, and the excessive sense of violation is prevented, and the process is simple, the running speed of the program is fast, so it can meet the requirements in the project.

Key words: image enhancement; embedded system; contrast; histogram equalization

收稿日期: 2012-11-20; 修订日期: 2013-04-12

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(No. 2008AA121803); 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室基金(No. 2012MS04)

作者简介: 尹传历(1979—), 男, 吉林江源人, 博士, 副研究员, 主要研究方向是数字图像处理与嵌入式系统。

1 引 言

由于受限于气候与天气条件,机载可见光成像系统捕获的图像往往对比度较差,严重影响了系统效能的发挥。如何从已经降质的图像中去除天气的影响,恢复图像的对比度,是目前急需解决的问题^[1-2]。基于图像增强方法不考虑退化原因,不需要准确的天气和景深信息,即可对单幅降质图像实现清晰化处理,满足主观视觉要求,在现实中得到了广泛应用^[3-5]。

传统的实时可见光图像增强方法中最常用的是灰度变换^[6]和直方图均衡^[7]。直接灰度变换方法虽然能在一定程度上实现对比度增强,但是变换函数确定比较困难,通用性差。直方图均衡化将图像原直方图的分布映射为近似均匀的分布,可以达到增强降质图像的对比度的目的。但是,该算法在图像整体对比度增强时,容易导致细节丢失,或者,有时对比度过于强烈,给人带来违和感。

近几年,一些研究学者提出了直方图均衡的改进算法。Zeyun 等采用子直方图划分方法改进直方图均衡,根据平均亮度将直方图分为两个子直方图分别作均衡化,运算速度快,但是视觉效果仍然不自然^[8];Joung-Youn Kim 提出空域处理后进行直方图均衡^[9],先进行空域区域划分,再进行直方图处理,有效地改善了由整体对比度增强而导致的细节丢失,但是空域处理需要应用二维卷积,运算量巨大;Seungioon Yang 等提出一种基于规定密度函数的直方图处理方法^[10],设置上下

阈值防止人为痕迹过于明显,但由于对直方图分布的硬限制,导致有些图像增强效果不明显。

为了使可见光图像增强系统得到更为广泛的应用^[11],本文设计了一种嵌入式高速图像处理平台,并在此基础上实现了一种基于对比度有效控制的直方图均衡化算法,在该平台上采集实际图像验证了算法的有效性。

2 嵌入式图像处理平台设计

本文根据工程实际项目的功能要求和技术指标要求,设计了基于 DSP 和 FPGA 的高速图像处理平台。系统主要由 Camlink 解码单元、数据缓存和逻辑控制单元 (FPGA1)、数据处理单元 (DSP+DDR II+FLASH)、数据缓存单元 (FPGA2)和图像下传单元 (DPRAM+ASI)等部分组成。硬件结构如图 1 所示。

系统核心处理芯片为 TMS320C6455,它是 TI 公司近几年推出的一款高性能定点 DSP。它是基于第三代先进 VeloviTI VLIW(超长指令字)结构开发出来的新产品,可以广泛应用于通信、图像处理、无线传输等领域。TMS320C6455 主频达到了 1 GHz,1 ns 的指令周期,每周期执行 8 条 32 位指令,最大峰值速度达到 8 000 MIPS。片内基于 C64xx 内核的 L1/L2 存储结构,集成了大量的存储空间。其中,L1 程序空间为 32K 字节,L1 数据空间为 32K 字节,L2 为 2M 字节,并可以直接映射到存储空间。同时,TMS320C6455 具有丰富的外围接口,是设计图像处理嵌入式系统的最佳平台之一。

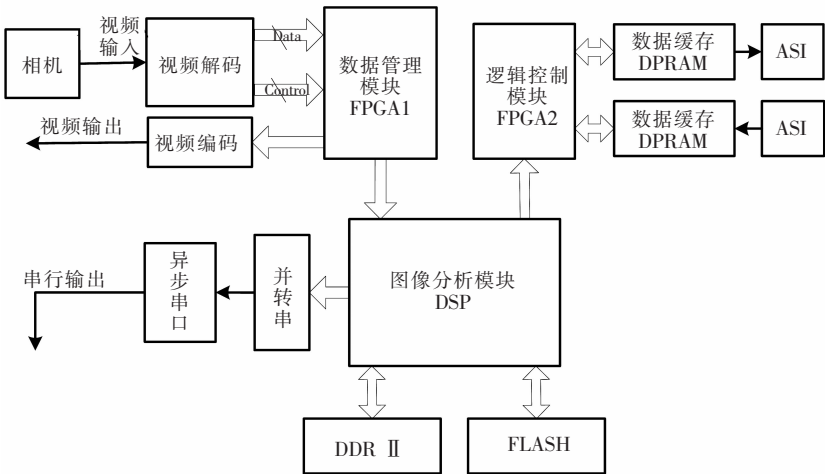


图 1 嵌入式图像处理平台原理框图

Fig. 1 Hardware schematic diagram of embedded image processing system

系统工作过程如下:系统上电后,DSP 从外部 FLASH 中 load 用户程序到内部程序空间,bootload 成功后用户程序执行。图像数据首先缓存到 FPGA 的视频口 FIFO 中,每当 FIFO 中的数据存满一行有效像素时,EDMA 便将该行图像数据搬移到外部存储器 DDR2 的视频采集储存区中,当该储存区中的图像数据满 512 行时,TMS320C6455 运行图像增强算法,将处理完的图像数据复制到 DDR2 的数据存储区中,然后将该区中的数据通过 EDMA 搬移到 FPGA 数据输出 FIFO 中,由 FPGA 编码成标准 ASI 格式输出。如此反复进行,直到串行通讯控制接口发送停止命令。

3 图像对比度增强算法

本文设计一种基于对比度有效控制的直方

$$P_{\text{AIVHE}}(k) = \begin{cases} P_h & , \text{if } P(k) \geq P_h \\ P(k) - \alpha(k)(P(k) - P_{\text{bas}}) \times \beta & , \text{if } P_{\text{bas}} < P(k) < P_h \\ P(k) + \alpha(k)(P_{\text{bas}} - P(k)) \times \beta & , \text{if } P(k) \leq P_{\text{bas}} \end{cases}$$

$$\text{其中, } \alpha(k) = \begin{cases} \left(1 - \frac{X_m - k}{X_m}\right)^2 \times (1 - \gamma) + \gamma & , \text{if } \gamma > 0 \text{ and } k \leq X_m \\ \left(1 - \frac{k - X_m}{(L-1) - X_m}\right)^2 \times (1 - \gamma) + \gamma & , \text{if } \gamma > 0 \text{ and } k > X_m \\ 0 & , \text{if } \gamma < 0 \end{cases}$$

β, γ 为调节参数。

(5) 将图像中像素灰度值 D 转换为灰度值 $f(x, y)$, 转换公式如下:

$$f(D) = (L-1) \times \sum_{j=0}^D P_{\text{AIVHE}}(j)$$

对于彩色图像,需要进行如下步骤:

(1) 将彩色图像从 RGB 转化为 HSI 模式。

(2) 计算亮度分量。

(a) 先将 H 分量量化为整数;

(b) 用上述介绍的算法处理量化后的 H 分量;

图均衡化算法。其中,实现该算法的关键是对比度有效控制。目前已有的算法基本上是凭经验进行对比度控制。为了使算法具有更强的通用性,本文根据图像的两种统计特征,自适应地调整直方图分布,再采用直方图均衡化。两种统计特征分别为直方图最大概率密度和图像平均亮度,根据像素亮度值与它们的距离进行自适应的调整。

算法具体步骤如下:

(1) 在灰度范围内,遍历整幅图像,得到图像中第 k 灰度级概率密度 $P(k)$, $k=0, 1, 2, \dots, L-1$, L 为图像中可能的灰度级总数;

(2) 计算最大概率密度 P_h 以及 $P_{\text{bas}} = P_h/2$;

(3) 计算平均亮度 X_m ;

(4) 计算新直方图分布 $P_{\text{AIVHE}}(k)$, 公式如下:

(3) 将处理后的 H 分量和原来的 SI 分量一起转化回到 RGB 模式。

4 实验结果与分析

本文将改进算法与原有算法的增强结果进行了比较,实验图像如图 2 所示,其中(a)为直方图均衡化增强图像,(b)为原始图像,(c)为本文算法增强图像。从图中可以看出,直方图均衡化算法增强的图像,对比度过于强烈,导致飞机细节丢失,而本文算法增强图像整体画面自然,细节清晰,

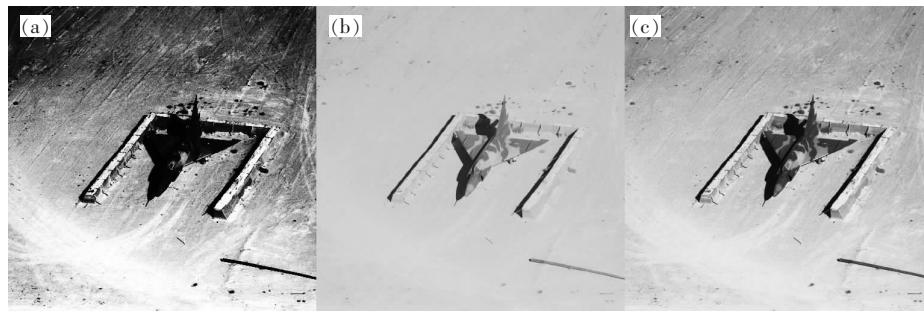


图 2 本文方法和直方图均衡化方法的比较。(a) 直方图均衡化增强图像;(b) 原始图像;(c) 本文算法增强图像。

Fig. 2 Comparison of our method and histogram equalization. (a) Histogram equalization image; (b) Original image; (c) Our enhancement image.

既能够看清楚飞机滑行的轨道,又能看清楚飞机的涂彩,取得了较好的效果。

为了验证本文设计的嵌入式可见光图像增强系统的有效性,在楼上对实时拍摄的场景进行处

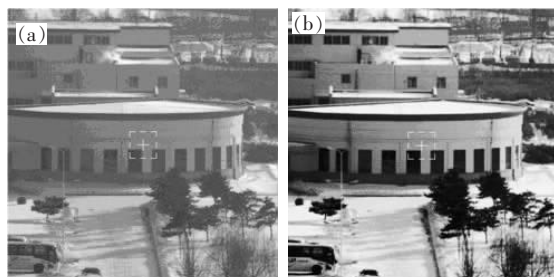


图3 试验图像和增强结果。(a)原始图像;(b)增强图像。

Fig. 3 Test image and enhancement results. (a) Original image; (b) Enhancement image.

理,图像大小为 768×576 ,实验图像如图3所示,其中(a)为原始图像,(b)为增强图像。从图中可以看出,增强效果明显。在处理时间上,运行时间小于40 ms,能够满足工程中的要求。

5 结 论

结合工程实际的需要,对嵌入式可见光图像增强系统进行设计。首先设计了嵌入式可见光图像增强处理平台,并在此基础上实现了一种基于对比度有效控制的直方图均衡化算法。基于该平台用真实图像验证了本文提出的算法,实验结果表明,本系统增强图像整体画面自然,细节清晰,取得了较好的效果,同时算法运行时间少,能够满足工程项目的要求。

参 考 文 献:

- [1] Zhai Y S, Liu X M. An improved fog-degraded image enhancement algorithm[C]//*Wavelet Analysis and Pattern Recognition(ICWAPR)*, Beijing:IEEE ICWAPR, 2007:522-529.
- [2] 尹传历,张葆,戴明,等. 嵌入式雾天降质图像对比度增强系统的设计与实现[J]. 电视技术, 2009, 33(12): 90-92.
- [3] Menotti D, Najman L. Multi-histogram equalization methods for contrast enhancement and brightness preserving[J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2007, 53(3): 1186-1194.
- [4] 赵艳伟. 基于图像分辨率增强算法的场景生成技术[J]. 液晶与显示, 2001, 26(6): 823-830.
- [5] 黄梅,吴志勇,梁敏华,等. 暗背景下低灰度图像的实时增强[J]. 液晶与显示, 2011, 26(3): 374-378.
- [6] Tarel Jean-Philippe. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[C]//*2009 International Conference on Computer Vision(ICCV)*, Kyoto:IEEE ICCV, 2009:20-28.
- [7] 尹传历. 基于双目立体视觉的三维测量技术研究[C]//长春:中科院长春光机所博士论文, 2008.
- [8] Zeyun. A fast and adaptive method for image contrast enhancement[C]//*2004 International Conference on Image Processing*, Singapore:IEEE ICIP, 2004:1001-1004.
- [9] Kim Joung-Youn, Kim Lee-Sup, Hwang Seung-Ho. An advanced contrast enhancement using partially overlapped Sub-Block Histogram Equalization[C]//*IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, New Jersey:IEEE Press Piscataway, 2001:475-484.
- [10] Yang Seungoon. Contrast enhancement using histogram equalization with bin underflow and bin overflow[C]//*2003 International Conference on Image Processing*, Barcelona:IEEE ICIP, 2003: 881-884.
- [11] 王彦臣,李树杰,黄廉卿. 基于多尺度 Retinex 的数字 X 光图像增强方法研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(1): 70-76.