

文章编号:1007-2780(2013)03-0459-05

基于 DSP 和 FPGA 的嵌入式实时图像增强系统

王静轩^{1,2}, 尹传历^{1*}

(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, E-mail: wangjx@ciomp.ac.cn;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 为了获得更加清晰、更高质量的图像, 设计了以高性能 DSP 芯片 TMS320VC6455 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的嵌入式高速图像增强处理平台, 并提出了一种新的快速自适应图像增强算法。首先将彩色图像从 RGB 空间转化为 HIS 空间, 然后对亮度空间进行多尺度 Retinex 增强处理, 最后进行对比度调节处理并转化到 RGB 空间进行输出。利用真实图像验证了本文提出的方法, 实验结果表明, 该系统可以有效地提高对比度, 获得了较好的增强效果, 同时计算时间少, 能够满足工程中的需要。

关 键 词: 彩色图像增强; 多尺度 Retinex 算法; 对比度; 自适应尺度

中图分类号: TP394.1; TH691.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132803.0459

Embedded Color Image Enhancement System Based on DSP and FPGA

WANG Jing-xuan^{1,2}, YIN Chuan-li^{1*}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: wangjx@ciomp.ac.cn;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to get clearer and more qualitative image, an embedded high speed image enhancement processing system on high performance DSP TMS320C6455 and FPGA was designed, and a new fast color image enhancement algorithm is presented. First, the color image is transformed from RGB to HIS. Then multi-scale retinex algorithm is adopted in the brightness image. Finally the color image is transformed from RGB to HIS. Experimental results with real images show that the system can improve the contrast of the fog-degraded image, effectively enhance the color image and shorten the running time of the program, which can meet the project.

Key words: color image enhancement; multi-scale retinex algorithm; contrast; adaptive scale

1 引 言

目前的航空侦察平台大多采用电视摄像系统, 具有信息量大、分辨率高的优点, 但是同时它又极易受到气候因素的影响。云雾是影响电视图

像清晰度的主要因素, 在有雾天气下, 系统捕获的图像对比度较差, 严重影响效能的发挥。如何从降质图像中去除天气因素的影响, 恢复图像的对比度, 是目前急需解决的问题^[1-2]。

目前, 图像增强方法是广泛采用的比较有效

收稿日期: 2012-12-31; 修订日期: 2013-02-19

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(No. 2008AA121803)

作者简介: 王静轩(1981—), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究。

* 通信联系人, E-mail: yinchuanli_1979@163.com

的手段,该方法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^[3-4]。

近几年,Retinex 算法成为图像增强处理领域的研究热点^[5-7],其基本思想是依据人感知到某点的光照并不仅取决于该点的绝对光照值,还取决于其周围的光照值。Retinex 增强算法能够改善图像颜色恒常性,压缩图像动态范围,提高对比度,有效地增强淹没在阴影区域中的细节。Kim-mel 提出了单尺度 Retinex 算法^[8],首先从原始图像中估计出光照图像,然后在对数域中从原图中减去光照得到增强后的图像,但是固定尺度难以对不同图像均取得理想效果。Funt 通过高、中、低三个尺度的合并来实现多尺度 Retinex 增强^[9],通过选择不同尺度的尺度参数对图像进行滤波增强,既可很好完成图像的动态范围压缩,又可保证图像的色感一致性,取得了很好的增强效果。

为了使彩色图像增强系统得到更为广泛的应用^[7-9],本文设计了一种嵌入式高速图像处理平

台,并在此基础上提出了一种快速彩色图像增强算法,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

在工程中,基于嵌入式平台的数字图像处理系统能够得到更广泛的应用^[10-16]。本文设计了一种嵌入式数字图像处理系统方案,原理框图如图 1 所示。

首先,数字相机输出的 Camera Link 标准的图像数据经过 DS90CF286 转换为 TTL 标准的图像信号,在 FPGA 的控制下存储到 DRRAM 中。然后,数字信号处理器 DSP、存储器 RAM 以及程序存储 FLASH 配合,实现数字图像处理功能,并将处理结果存储到 DRRAM 中。最后,在 FPGA 的控制下,将 DRRAM 处理后的图像导出,由 DS90CF285 将 TTL 标准的图像信号转换为 Camera Link 标准的图像数据输出。在此过程中,系统始终通过 RS442 串行接口、控制接口和以太网接口与用户保持通讯。

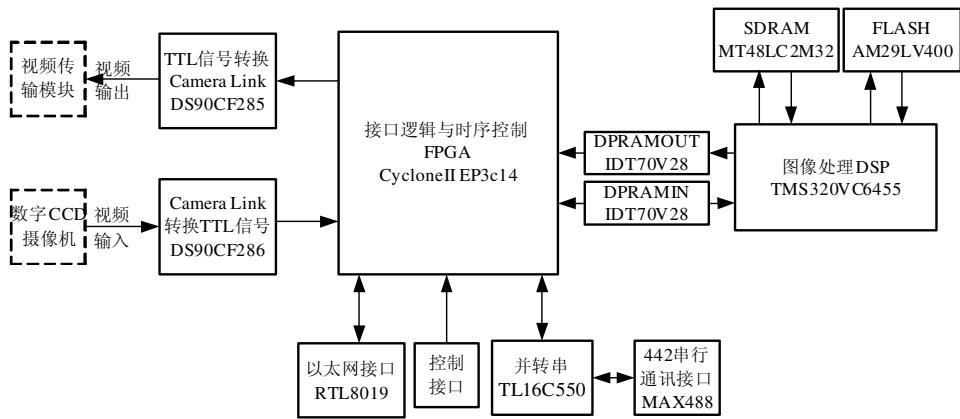


图 1 嵌入式图像增强系统硬件原理框图
Fig. 1 Hardware schematic diagram of embedded enhancement system

该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。

接口逻辑和时序控制核心芯片为 EP3C14Q240C,它是 Altera 公司的 CycloneIII 系列中性价比较高的可编程逻辑器件。EP3C14Q240C8 器件提供了 15 408 个逻辑单元(LE)、516 096 总 RAM Bits、160 可用 I/O,并具有一整套最佳的功能,包括嵌入式 18 bit×18 bit 乘法器、专用外部存储器接口电路、嵌入式存储器

块、锁相环(PLL)和高速差分 I/O 能力。

3 快速 Retinex 彩色图像增强算法

Land 首先提出了 Retinex 作为人眼感知亮度和色度的视觉模型,其定义理想的图像 $f(x, y)$ 为:

$$f(x, y) = r(x, y) \times i(x, y)$$

其中, $i(x, y)$ 为环境亮度函数, $r(x, y)$ 为物体反射函数。环境亮度函数描述周围环境的亮度,与物体无关;而物体反射函数是指物体反射能力,与照明无关,反映物体的本质属性。基于这种模型,可以得到环境亮度函数是一种变化缓慢的图像低频信息;而反射函数则包含图像的大部分高频细节信息。

利用对数变换将乘积关系转换为求和关系,单尺度的 Retinex 算法可用下面的表达式描述:

$$R(x, y) = \log I(x, y) - \log [F(x, y) * I(x, y)]$$

其中 (x, y) 表示像素点在图像中的坐标, $R(x, y)$ 是输出的图像函数, $I(x, y)$ 式输入图像分布函数, $*$ 代表卷积操作, $F(x, y)$ 被称为环境函数。

对于环境函数的选择可以有很多种,一般选用高斯函数作为环境函数:

$$F(x, y) = K \exp(-(x^2 + y^2)/\sigma^2)$$

其中, σ 为高斯函数的标准偏差,并且满足:

$$\iint F(x, y) dx dy = 1$$

通常,单尺度 Retinex 算法很难在动态范围压缩和色感一致性之间寻找平衡点,很难达到理想的效果。

多尺度 Retinex 算法既能很好地完成图像的动态范围压缩,又能保证图像的色感一致性的图像增强方法。

该算法可用下式描述:

$$R(x, y) = \sum_{k=1}^K W_k \{ \log I(x, y) - \log [F_k(x, y) * I(x, y)] \}$$

其中, k 表示尺度参数的个数, $F_k(x, y)$ 表示第 k 个尺度参数对应的高斯函数, W_k 表示与第 k 个尺度参数构成的高斯函数相关的权重。

本文根据实际工程的需要,首先将彩色图像从 RGB 空间转化为 HIS 空间,然后对亮度空间

进行多尺度 Retinex 增强处理,再进行对比度调节处理并转化到 RGB 空间进行输出。

算法具体实现步骤如下:

(1)将彩色图像 $S(i, j)$ 从 RGB 转化为 HSI 模式,并将其像素点亮度值分别转换为 double 型,提高计算精度。

(2)对于亮度通道图像,求取对数:

$$S'(i, j) = \log S(i, j)$$

(3)设定一定大小的高斯模板 $F(x, y)$, 对图像中的每一个像素高斯加权,得到新的图像 $G(x, y)$, $G(x, y) = S(x, y) * F(x, y)$, 其中 $F(x, y) = \sum_{k=1}^K W_k \{ \log S(x, y) - \log [F(x, y) * S(x, y)] \}$ 。

(4)对新图像求取对数: $G'(i, j) = \log G(i, j)$ 。

(5)计算图像中原像素点与高斯加权后的像素点在对数域中的明暗关系, $V'(i, j) = G'(i, j) - S'(i, j)$ 。

(6)通过 $V'(i, j)$ 对 $R(i, j)$ 中的每一个像素点亮度值进行校正, $R'(i, j) = R(i, j) - V'(i, j)$ 。

(7) 进行对比度调节,公式如下:

$$R_{out}(i, j) = 255 \times \frac{R'(i, j) - r_{min}}{r_{max} - r_{min}}$$

其中, $R'(i, j)$ 和 $R_{out}(i, j)$ 分别为图像坐标 (i, j) 的输入灰度值和输出灰度值, r_{max} 和 r_{min} 分别为修正后图像的最大灰度值和最小灰度值。

(8)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

为了验证本文设计的嵌入式图像增强系统的有效性,从楼上有雾的图像场景进行实时处理,图 2(a)为原图像,图 2 (b)、(c)分别为直方图均衡化算法、单尺度 Retinex 算法增强结果,图 2(d)为本文算法增强的图像。

从图中可以看出,本文算法明显优于直方图均衡化算法。与单尺度 Retinex 算法相比,本文算法利用不同的尺度,在压缩动态范围时具有足够的锐化,因此图像显得更加清晰。同时,本文算法计算时间小于 40 ms,能够满足工程中对实时性的要求。



图 2 原图像(a)和不同算法增强后图像(b,c,d)

Fig. 2 Original image (a) and enhancement images (b,c,d) with different algorithm.

5 结 论

结合工程实际的需要,对嵌入式彩色图像增强系统进行设计。首先基于 DSP 和 FPGA 设计了彩色图像增强处理平台,并在此基础上提出了一种多尺度 Retinex 彩色图像增强算法,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,快速多尺度 Retinex 算法可有效增强阴影区域中的细节,压缩图像动态范围,提高对比度,得到较好的增强效果,并且计算时间少,能够满足系统实时性要求。下一步工作计划将深入研究算法参数的确定,进一步提高图像细节的对比度。

参 考 文 献:

- [1] Narasimhan S G, Nayar S K. Contrast restoration of weather degraded images [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(6):132-724.
- [2] Tank, Oakley J P. Enhancement of color images in poor visibility conditions [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*. Vancouver, Canada; IEEE press, 2000, 788-791.
- [3] Zhai Y U, Liu X M. An improved fog-degraded image enhancement algorithm [J]. *Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, 2007, 12(2):522-529.
- [4] Laurence Meylan, Sabine Süsstrunk. High dynamic range image rendering with a retinex-based adaptive filter [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 15(9):2820-2830.
- [5] 赵全友,潘保昌,郑胜林. 复杂光照下的两步法颜色恒常性增强 [J]. *光学精密工程*, 2009, 4(17):859-866.
- [6] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Retinex processing for automatic image enhancement [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2004, 13(1):100-110.
- [7] Meylan L, Süsstrunk S. Color image enhancement using a Retinex-based adaptive filter [C]//*Second European Conference on Color in Graphics, Image, and Vision*, Germany:Spring field, VA:Society for Imaging Science and Technology, 2004(2):359-363.
- [8] Kimmel R, Elad M, Shaked D. A variational framework for retinex [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2003, 52(1):7-23.
- [9] Funt B, Ciurea F, McCann J. Retinex in matlab [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2004, 13(1):48-57.

[10] 关澈,王延杰. CCD 相机实时自动调光系统 [J]. 光学 精密工程,2008,2(16):358-366.

[11] 尹传历,刘冬梅,宋建中. 一种嵌入式实时跟踪系统的设计与实现 [J]. 电视技术,2008,1(32):85-87.

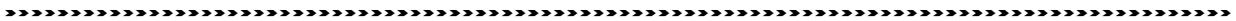
[12] 许廷发,秦庆旺,倪国强. 基于 DM642 融合系统的 ATrous 小波实时图像融合算法 [J]. 光学 精密工程,2008,10(16):2045-2050.

[13] 尹传历. 基于双目立体视觉的三维测量技术研究 [D]. 长春:中科院长春光机所博士论文,2008:4.

[14] 邓建青,刘晶红,刘铁军. 基于 DSP 系统的超分辨率图像重建技术研究 [J]. 液晶与显示,2012,27(1):114-120.

[15] 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.

[16] 王田,刘伟宁,孙海江,等. 基于复杂度和方向梯度的红外弱小目标检测方法 [J]. 液晶与显示,2012,27(5):692-696.



欢迎订阅 欢迎投稿

《光学 精密工程》

《光学 精密工程》是中国仪器仪表学会一级学术期刊,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,科学出版社出版。由国内外著名科学家任顾问,陈星旦院士任顾问委员会主任,国家科技部副部长曹健林博士担任主编。

《光学 精密工程》坚持学术品位,集中报道国内外现代应用光学、光学工程技术、光电工程和精密机械、光学材料、微纳科学与技术、医用光学、先进加工制造技术、信息与控制、计算机应用以及有关交叉学科等方面的最新理论研究、科研成果和创新能力。本刊自 2007 年起只刊发国家重大科技项目和国家自然科学基金项目及各省、部委基金项目资助的论文。《光学 精密工程》竭诚欢迎广大作者踊跃投稿。

本刊获奖:

- 中国百种杰出学术期刊
- 中国精品科技期刊
- 中国权威学术期刊(RCCSE)
- 中国最具国际影响力学术期刊
- 中国科学院择优支持期刊

国际检索源:

- 《美国工程索引》(EI Compindex)
- 《美国化学文摘》(CA)
- 《英国 INSPEC》(SA)
- 《俄罗斯文摘杂志》(PЖ)
- 《美国剑桥科学文摘》(CSA)

国内检索源:

- | | |
|-------------|----------------|
| 中国科技论文统计源期刊 | 中文核心期刊要目总览(北大) |
| 中国学术期刊(光盘版) | 中国学术期刊综合评价数据库 |
| 万方数据系统数字化期刊 | 中国科学期刊全文数据库 |
| 中国科学引文数据库 | 中国光学文献数据库 |
| 中国物理文献数据库 | 中国学术期刊文摘 |
| 中国期刊网 | 中国物理文摘 |

地 址:长春市东南湖大路 3888 号

《光学 精密工程》编辑部

邮 编:130033

电 话:(0431)86176855

传 真:(0431)84613409

E-mail: gxjmgc@ciomp. ac. cn

gxjmgc@vip. sina. com

http://www. eopec. net

国内邮发代号: 12-166

国外发行代号: 4803BM

定 价: 50.00 元/期

帐 户: 中国科学院长春光学
精密机械与物理研究所

银 行: 建行长春朝阳支行

帐 号: 22001360300054506148