

文章编号: 1007-2780(2013)06-0968-05

基于 DSP+FPGA 的实时图像去雾增强系统设计

贺柏根, 刘 剑, 马天玮

(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: hebaigen@sohu.com)

摘 要: 图像作为人类感知世界最直观信息, 为我们日常生活带来极大便利。然而, 受雾霾、光照差等环境影响, 实际成像存在朦胧不清晰等问题。当前对图像去雾增强处理以事后分析居多, 难以满足跟踪等实施性要求较高的应用需求。针对此问题, 文章设计一款基于 DSP+FPGA 的实时去雾增强系统。该系统集成了 DSP 大型数据处理能力和 FPGA 高实时性的优点, 很好地将改进型“暗通道”原理算法移植其中。有效满足了实时去雾增强功能要求, 并已应用于实际工程项目。实验证明, 该系统工作稳定有效, 能有效解决实际工程中雾霾、光照不足给成像造成的影响。

关 键 词: 图像去雾; 图像增强; DSP; FPGA; 图像处理

中图分类号: TP394.1; TH691.9

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132806.0868

Real-Time Image Defogging and Enhanced System Designed Based on DSP+FPGA

HE Bai-gen, LIU Jian, MA Tian-wei

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: hebaigen@sohu.com)

Abstract: As a kind of the most intuitive information, image has brought great convenience to our daily life. However, due to haze and poor light environment impacts, actual image usually have blurred clarity and other issues. Currently, image defog and enhance processing is mostly in hindsight, it is difficult to meet the requirements for tracking and other high real-time requirements applications. To solve this problem, a real-time image defogging and enhancement system is designed based on DSP+FPGA. This paper collects the DSP's large-scale data processing capability and FPGA's high real-time advantage, and skillfully transplant the improved "Dark channel" principle algorithm. This real-time image defogging and enhancement systems has applied in practical projects, and effectively meets the requirements of real-time processing. Experimental results show that this system works stably and effectively, solves the problem caused by haze and insufficient light perfectly.

Key words: image defogging; image enhanced; DSP; FPGA; image processing

1 引 言

图像信息作为人类感知世界最直观的信息之

一, 为我们认识世界提供了极大的帮助。近代以来随着微电子技术的不断发展, 图像信息经过了从无到有, 从模拟到数字, 从黑白到彩色, 从可见

收稿日期: 2013-03-02; 修订日期: 2013-09-12

基金项目: 国家 863 计划(No. 2005AA778032)

作者简介: 贺柏根(1983—), 男, 山西平遥人, 工学博士, 助理研究员, 主要从事视频跟踪、景像匹配、图像处理等方面的研究。

光到多光谱等的不断演进,图像质量(分辨率、清晰度等)也有了极大提高。同时人类对图像质量要求也在不断提高,其中可见光图像由于跟人眼成像最为相近其观感对人的影响更大,因而对其质量要求更高。但受可见光传输及成像机理所限,所成图像往往会受天气如雾霾、光线不足等从成像过程暂时尚无法克服问题的困扰,需要对其进行事后处理。同时,在图像跟踪等应用领域,对图像进行处理所带来的时间延迟对伺服系统又是一种致命的缺点。基于以上问题,本文设计了一种基于 TI TMS320C6455+FPGA 的实时图像去雾增强系统,并将其应用于工程实际。实验表明本系统在像素时钟 50M 成像大小为 $1\,392 \times 1\,024$ 工程中能对图像实现明显的改善,且对正常图像无不良影响。

2 系统结构和工作原理

2.1 系统结构

本图像去雾增强系统采用 DSP+FPGA 架构完成。其中 DSP 使用 TI 公司生产的高速定点数字信号处理芯片 TMS320C6455,该芯片是 TI 公司基于第三代高速 C6000 平台开发而成,主频 1.2 GHz,片上存储器 L1P 程序缓存 256 kbit, L1D 数据缓存 256 kbit, L2 缓存 16 Mbit, 64 位通路的 EDMA 控制器, EMIF 接口支持 16 bit、32 bit、64 bit 宽度,速度可达 100 MHz。FPGA 采用 ALTERA 高端 StratixII 系列芯片,型号为 EP2S 系列 EP2S60-F1020C5,该芯片具有逻辑单元 60 440, RAM 总数 31 8024 kbit, DSP blocks 36 个, 18 bit $\times$ 18 bit 乘法器 144 个, PLL 12 个,最大使用 IO 数 718 个。视频编解码使用 3M 公司芯片 DS90CR285 和 DS90CR286 实现。

2.2 系统工作原理

本系统结构框图如图 1 所示。

工程应用中去雾增强是对图像的一种预处理以使图像更加清晰。增强图像清晰度的目的概括来说可分为便于观察和便于后续处理两种,单从便于观察角度来说,对其实时性要求相对较低,有些甚至可以做事后处理,但便于后续处理则要求更高。诸如实时图像跟踪等应用领域,实时性差将导致脱靶量滞后甚至目标丢失,会给后续伺服系统带来未知甚至灾难性后果。基于 DSP+FPGA

架构的图像处理系统是当前一种比较成熟稳定且广泛应用的硬件结构,该结构系统中, FPGA 通常作为一种调度使用,图像处理算法实现主要靠高速处理信号处理芯片 DSP 完成,在跟踪等领域图像数据只需单向进入 DSP,处理后输出相应参数即可,在实时视频图像处理中大量图像数据只需通过 EMIF 输入,且输出数据量较小可以实时完成。但在去雾增强过程中图像不仅要输入处理后还需要输出,为了不造成 DSP 芯片 EMIF 口阻塞只能实行输入、输出分时进行,对于连续图像数据来说就需要做缓存,如此则会带来相应的数据延迟。为了去除这一延时,本图像去雾增强系统仅将参数求取放入 DSP 中进行,而去雾增强算法最终实现由 FPGA 来完成。这样去除了图像数据在 DSP 与 FPGA 之间传输时的时延,且 FPGA 属于纯硬件实现因此实时性更好。

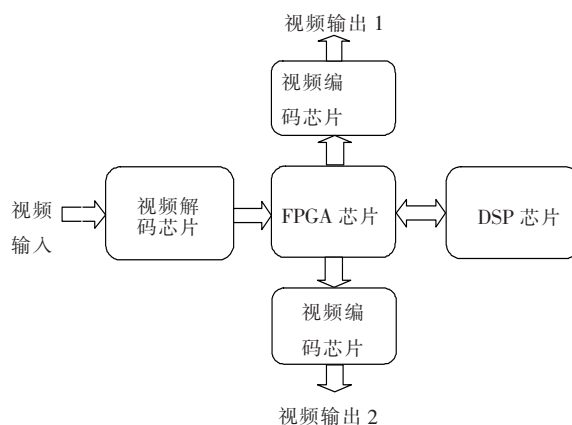


图 1 实时图像去雾增强系统硬件框图

Fig. 1 Hardware block diagram of the real-time image defogging and enhanced system

去雾增强系统采用香港微软亚洲研究院何凯明先生的“暗通道”原理并对其改进后完成,由于该原理基本公式是一项不可求解的病态过程,实际应用中雾算法的实现主要是公式中光介质传输系数 $t(x)$ 和大气背景光强度 A 两参数的估计约束,由于这两项参数求解需要对全幅图像进行滤波等处理得出,运算量极大且理论上无法达到实时,因此本系统采取 DSP 与 FPGA 分工处理的方法进行。其中 DSP 主要完成上述两项参数的估计, FPGA 对图像每个像素灰度值进行计算,该系统硬件工作分工及过程如图 2 所示。具体算法将在下节介绍。

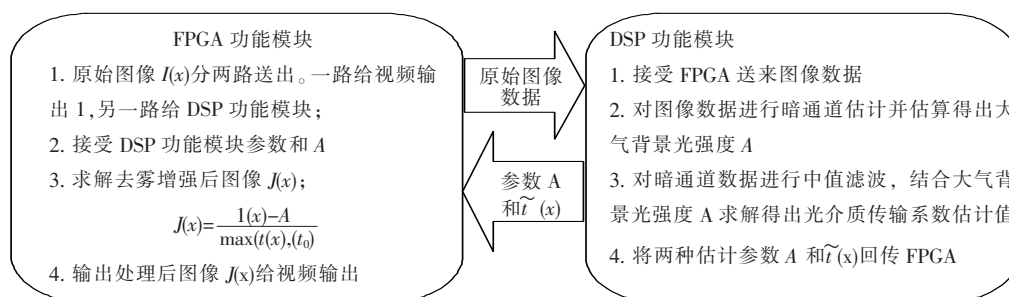


图 2 实时图像去雾增强系统硬件工作分工及过程图

Fig. 2 Hardware division and work processing diagram of the real-time image defogging and enhanced system

3 去雾增强算法

3.1 “暗通道”基本原理

在图像处理领域,对因雾霾等影响造成图像模糊应用比较广泛的数学模型如式(1)所示^[1-2]:

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + A[1 - t(x)] \quad (1)$$

其中 $I(x)$ 表示成像设备对真实场景所成的观察图像即受雾霾影响所成图像, $J(x)$ 表示真实场景图像即不受雾霾影响的理想图像, $t(x)$ 表示成像设备对光线的接收比例即光介质传输系数, A 表示大气背景光强度。对图像进行去雾处理的实质是对公式(1)从左至右的逆推过程即已知观察图像 $I(x)$ 求理想图像 $J(x)$ 。在实际的应用场景中,因为空气具有自主流动性,在有限空间内可以认为大气介质是均匀的其光传输系数不变可用式(2)进行表示:

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (2)$$

其中 β 表示大气散射系数, $d(x)$ 表示场景图像的深度信息。结合公式(1)、(2)可以看出由于 $t(x)$ 、 $J(x)$ 、 A 同为未知量,是一个不可解过程。为此 HE 在文献[3]中构造了“暗通道”模型,对上述公式中未知变量进行先验估计约束^[3]。

HE 的“暗通道”原理认为一副图像中由于成像场景中阴影、色彩或暗表面等的影响,彩色图像某一色彩通道、黑白图像的某一局部区域有比较小甚至趋近于零的亮度值。某一图像 $I(x)$ 可用公式(3)表示:

$$I^{\text{dark}}(x) = c \in \{r, g, b\} (y \in \omega(x) (I^c(y))) \rightarrow 0 \quad (3)$$

式(3)中 I^c 表示图像 I 的某一色彩通道,对于灰度图像则表示图像灰度值。 $\omega(x)$ 表示图像中坐标 x 处周围大小一定的图像块。HE 等经过对大量

图片试验证明无雾霾影响情况下 I^{dark} 都比较小甚至趋近于零,这一发现就称为“暗通道”原理。

3.2 图像去雾处理

在“暗通道”原理支撑下 HE 在文献[3]中综合公式(1)~(3)对光介质传输系数 $t(x)$ 进行估计约束,由于大气背景光强度 A 始终为正值,假设其为已知值的情况下可得出公式(4)表示的估计值 $\tilde{t}(x)$:

$$\tilde{t} = 1 - \min_c \left(y \in \omega(x) \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right) \quad (4)$$

通过打量图片试验证明大气背景光强度 A 可用先前选定的“暗通道”中最亮像素点灰度值的 0.1% 来进行估计。在对大气背景光强度 A 和光介质传输系数 $t(x)$ 有了合理估计约束后不难得出图像去雾增强求解公式(5):

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (5)$$

对去雾增强图像求解的难点及重点是光介质传输系数 $t(x)$ 的合理估计及对求解结果的优化处理。HE 在文献[1]中采用 Soft Matting 算法进行全局优化得出较好的处理结果,但该算法计算复杂度较高,在通常的嵌入式系统中难以达到实时处理^[4-11]。为此本系统采用传统的具有保边效果的中值滤波来进行处理。实验证明该简化处理不仅能完全满足实时处理要求,且最终处理结果同样令人满意。

4 实验结果

为验证本实时图像去雾增强系统的有效性,搭建了实时仿真平台,该平台将输入视频在 FPGA 中分两路输出,一路视频输出原始图像,另一路输出去雾后图像,完全同时、同场景图像的对比。

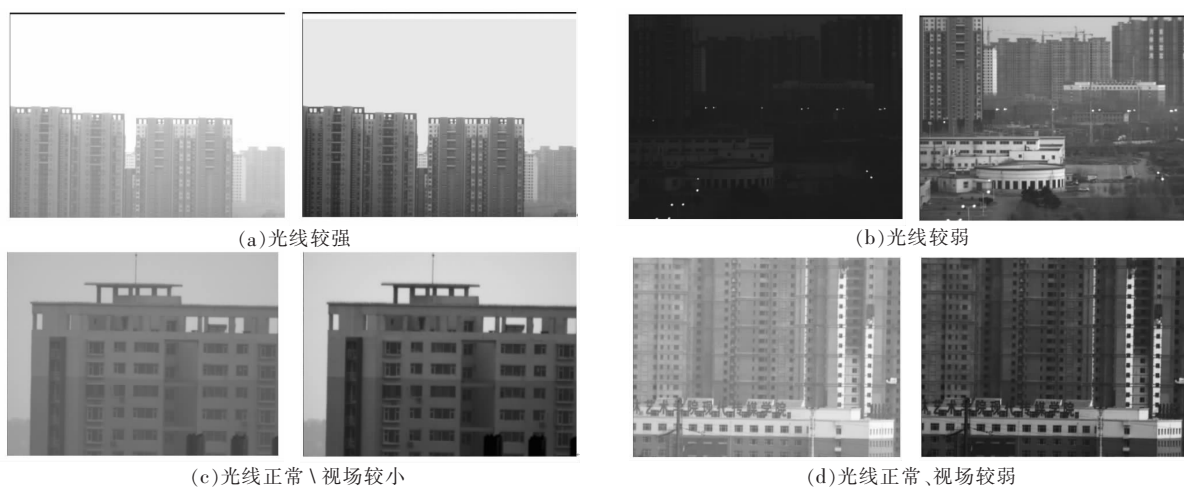


图 3 彩色相机实验结果图(a、b、c、d)

Fig. 3 Experimental results of color camera(a、b、c、d)

实验分两组,实验一采用彩色相机在薄雾天气下进行,分别列出在光线较强、光线较弱、光线正常视场较小、光线正常视场较大的 4 种条件下所得(a)(b)(c)(d)4 组实验结果对比图,如图 3 所示。

实验二采用黑白相机在比较浓的雾天下进行,分别列出(a)(b)(c)3 组观察雾天中塔吊不同部位的实验结果,如图 4 所示。

分析图 3 实景实验图片可以看出,本系统对雾霾天气下成像有了明显改善,使图像清晰度显著提高,图 3(b)可以看出本系统同时具有图像增强功能,在光照条件极差情况下,经本系统处理能清晰显示图像内容。图 4 实验采用黑白相机在雾霾比较重环境下进行,可以看出该条件下本系统同样具有较好的处理效果。需要指出的是,该系统在有雾或光照条件差的情况下能有效去除这些不利条件影响,而在成像条件好的情况下不对图像施加其他不利影响。

5 结 论

设计了一款基于 DSP+FPGA 的嵌入式实时图像去雾增强处理系统。实验表明,该系统能稳定有效去除雾霾对图像造成的影响,提高图像清晰度,且对光照条件差的图像具有明显的增强效果。访系统可有效提高成像系统环境适应性,在监控、侦察等军民领域都具有广泛的应用前景。

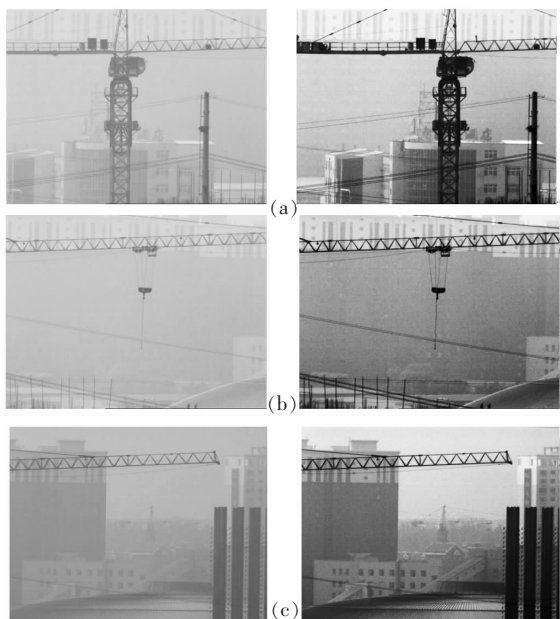


图 4 黑白相机实验结果图

Fig. 4 Experimental results of the gray camera

参 考 文 献:

- [1] Narasimhan S G, Nayar S K. Vision and the Atmosphere [J]. *Computer Vision*, 2002,48:233-254.
- [2] Narasimhan S G, Nayar S K. Contrast Restoration of Weather Degraded Images [J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003,25(6):713-724.
- [3] He Kaiming, Sun Jian, Tang Xiaou. Single image haze removal using dark channel prior [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011,33(12):2341-2353.

