

文章编号:1007-2780(2011)04-0551-04

基于 FPGA 的红外序列图像动态压缩显示

孙 航,冯 强,韩红霞

(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:ciompsunh@163.com)

摘 要:高位宽红外相机数字视频信号在向 8 位宽模拟信号线性压缩显示转换时存在细节丢失的现象。针对这一问题,提出了一种新算法,即先利用高斯滤波器对红外数字图像进行低通滤波,然后将低频图像进行线性压缩后再进行直方图均衡运算,之后与滤波产生的高频细节信号进行叠加后送到 D/A 芯片进行模拟显示。详细讨论了该算法在 FPGA 嵌入式系统上的具体硬件结构和实现方法,并对 12 位相机采集的图像进行了实时压缩显示实验。最终实验结果证明,该系统在进行压缩显示时可以很好地显示传统压缩算法无法显示的细节信息,并有效抑制了图像的高频噪声。

关 键 词:细节增强;图像压缩;FPGA;红外视频

中图分类号: TP332 **文献标识码:** A **DOI:** 10. 3788/YJYXS20112604. 0551

Infrared Sequence Image Dynamic Compression Display Based on FPGA

SUN Hang, FENG Qiang, HAN Hong-xia

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033,China, E-mail: ciompsunh@163.com)

Abstract: When compressing image of high bit-wide infrared cameras to 8-bit analog image to display, it exists that image lost the most details, this paper put forward a new algorithm that use the Gauss filter to make the image still to keep the infrared image detail information after compression. The paper introduced the method how to make algorithm to be realized on FPGA hardware,and make an experiment that 12 bit camera image is compressed to 8 bit analog display on real-time. The experimental results show that the system can keep the detail information perfectly under the condition of restrain noise,and can change 12 bit-wide 320×240 surface array of infrared cameras into analog video under preserving details.

Key words:DDE; image compression; FPGA; infrared video

1 引 言

在光电设备中,高位宽红外探测器由于具有高灵敏度、低噪声的特点而得到广泛应用。由于显示设备一般要求图像数据为 8 位位宽,因此需要将高位宽的图像数据压缩至 8 位位宽。现在成熟的压缩技术主要为直方图均衡算法,包括 HE、

PE、HP 及各种线性的压缩算法^[1],但此类算法在处理大动态范围图像时,无法同时保留图像低温区 and 高温区的细节信息。另外还有一些诸如基于小波理论的动态压缩算法^[2],虽然能同时保留图像高低温各区的细节信息,但是由于其算法过于复杂,不适合应用于嵌入式系统,一般都仅限于在 PC 机上进行处理。采用 PC 机处理会使整个系

收稿日期: 2011-01-28; 修订日期: 2011-03-25
作者简介: 孙航(1979—),男,吉林长春人,博士,主要从事图像处理及显示工作。

统的体积过于庞大,并且此类算法由于计算量较大一般不能处理高帧频相机的图像。

本文设计了一套压缩显示算法,可在压缩高位宽图像信息的同时保留图像的细节信息。在FPGA 嵌入式系统上设计了硬件结构并应用 verilog 语言进行编程,对 12 位相机采集的图像进行了实时压缩显示实验。实验结果表明,该系统在进行压缩显示时可以很好地显示传统压缩算法无法显示的细节信息,并有效抑制了图像的高频噪声。

2 细节增强算法

在对红外图像进行压缩显示时,为了在压缩大动态范围图像不同温度区域的图像信息时兼顾保留图像的细节信息,需要对图像信息进行细节增强算法。一幅图像从频域上一般可分解为高频分量和低频分量,其中高频分量对应图像的噪声和图像的局部细节信息,低频分量对应图像的整体视觉效果。在图像压缩时分别将图像的高频分量和低频分量进行不同尺度的压缩,即高频分量采用加权的线性压缩,低频分量采用线性压缩后作直方图均衡处理,对细节和整体图像信息分别压缩后再重组图像既可以保持整体的高对比度效果,又不会由于过度压缩导致视频细节的丢失。

在对图像的分频处理上,分频滤波器的选择有多种方式。传统的低通滤波器有矩形滤波器和塔形滤波器等,此类滤波器的传递函数存在负旁瓣,可能会出现图像细节的极性翻转,导致图像在细微结构上出现明暗颠倒的现象,从而破坏原有图像效果。本文选用高斯低通滤波器,相对于传统的低通滤波器,高斯函数的傅里叶变换仍为高斯函数,因此在用高斯滤波器进行滤波时,图像在时域和频域都具有比较好的平滑效果。

对于一般形式的二维高斯滤波器,可以用如下形式表示:

$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

(1)

其中 σ 为高斯函数的标准差。在 FPGA 平台中图像的高斯滤波算子可表示为如下形式:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix} / 16$$

(2)

图像经过滤波后分别进行直方图均衡和线性加权,最终合成输出图像,其整体流程可由图 1 表示。

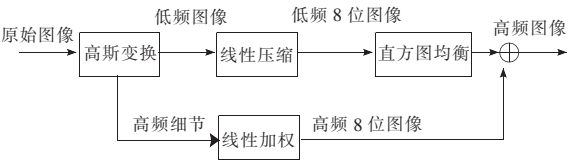


图 1 算法流程图
Fig. 1 Flow chart of the arithmetic

原始图像经高斯滤波器分解出的低频图像首先线性压缩到 8 位图像,此时由于线性压缩导致图像对比度较低,影响视觉效果,因此在线性压缩后要对低频的 8 位图像进行直方图均衡处理。直方图均衡过程是通过增强函数 $t = E(s)$ 来完成的,其中 t 和 s 分别为目标图像和原始图像上的像素点 (x,y) 。在进行均衡化处理时,增强函数 E 需满足两个条件:在 s 取值范围内, $E(s)$ 是单调递增函数;当 $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$ 时,满足 $s_{\min} \leq E(s) \leq s_{\max}$ 。累计分布函数(CDF)满足上述两个条件,通过该函数可以完成 s 到 t 的均匀分布转换,式(3)为增强转换方程:

$$t_k = E(s_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_s(s_j)$$

(3)

式中 $p(s)$ 代表统计的直方图, $n(j)$ 代表相应灰度的像素个数, n 代表总的像素个数。根据该转换方程可以由原图像的各像素灰度值直接得到直方图均值化后各像素所占灰度级的百分比,再按照源图像灰度级 s_k 到均值化后灰度级 t_k 的映射关系完成对图像的均值化。

3 FPGA 硬件实现

设计中选用的 FPGA 为 Altera 公司的 Cyclone II EP2K8 FPGA,该器件内部有 8 256 个 LE,18 个 DSP 模块,165 888 bits 存储单元。FPGA 的内部结构设计包括线性压缩模块、高斯滤波模块、直方图统计模块、直方图均衡模块和图像求和模块等几个主要部分。其中高斯滤波模块首先利用移位寄存器实现图像的 3×3 窗口在整幅图像上的移动,通过加法器和移位器将每个图像窗口与式(2)中的算子进行卷积运算,得到图像的低通滤波图像存储在双端口 RAM1 中;同时,图像的高频部分通过当前帧的输入图像减去上一帧的低通滤波图像得到,并存储在另一个双端口 RAM2 当中。线性压缩模块负责记录低频图像

的最大值和最小值并通过图 2 所示曲线, 将低频图像压缩至 16~240 范围之内。直方图均衡模块利用 FPGA 片上的 BLOCK RAM 构建片内的双端口 RAM 以存放开辟的数组, 并对压缩后的低频图像进行直方图统计和均衡算法处理。

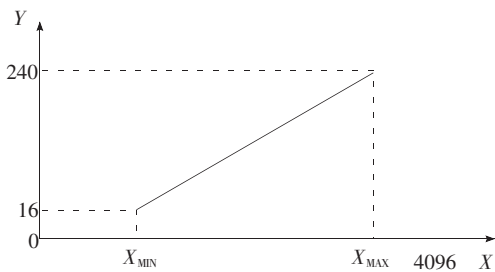


图 2 线性压缩映射图

Fig. 2 Mapped chart of the linear compression arithmetic

具体的硬件结构如图 3 所示。首先利用锁相环将系统时钟倍频后作为直方图统计模块的采样时钟, 视频图像经过直方图统计模块进行直方图统计, 并将统计结果存放在双端口 RAM 中。直方图均衡表模块根据灰度级地址从双端口 RAM 中读取相应灰度级的像素数, 进行均衡后生成相应的像素数存放在另一块双端口 RAM 中, 形成均衡映射表。图像均衡模块根据均衡映射表将原灰度映射为均衡后灰度, 并存储在图像存储 RAM 中。

经过直方图均衡化后的低频图像, 其整体对比度得到了增强, 而由其与原始图像做减法运算所产生的高频信号表征了图像的细节信息。因此, 将高频图像首先线性映射到 8 位宽, 映射方法

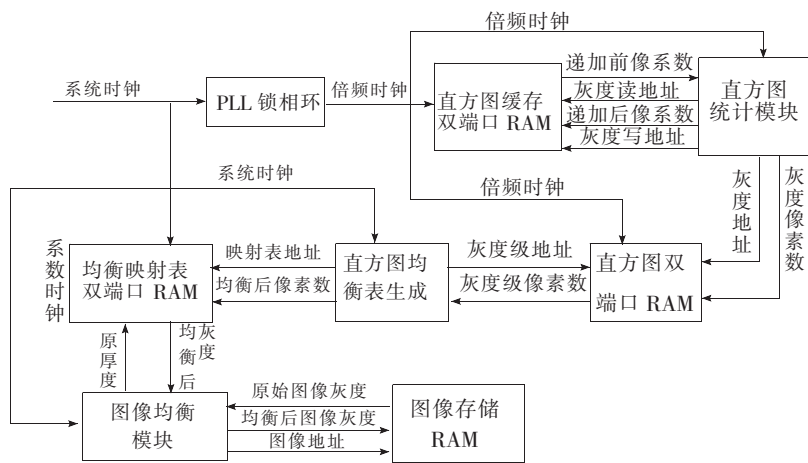


图 3 直方图均衡子模块结构框图

Fig. 3 Structure diagram of the histogram equalizer module

为首先计算高频图像的最大值与 8 位空间最大值 (255) 的差值; 然后, 将整个高频图像与这个差值相减, 将计算出的结果中小于零的数据置为零; 最后, 再与均衡化后的低频图像做加法, 送与外围 D/A 芯片 SAA7105 进行 D/A 显示。

4 实验结果与分析

实验中采用 320×240、帧频 50 Hz、相应波段为 5~8 μm 的 12 位数字图像输出接口的红外成像设备, 录像场景为室外的建筑物。图 4(a)、(b) 为采用传统线性压缩后输出的模拟视频效果。可以看到, 由于线性压缩时在所有灰度级上的压缩尺度相同, 所以导致了低灰度尺度上的大量细节丢失。图 4(c)、(d) 所示为采用本文算法进行细节增强后的显示效果, 由于压缩时对低频和高频

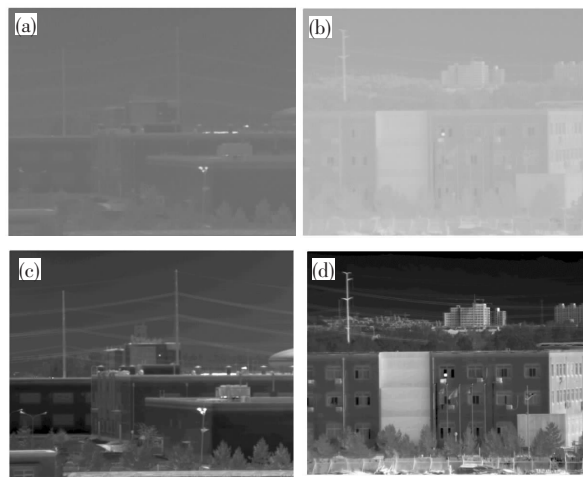


图 4 线性压缩显示与本文细节增强算法的显示效果比较
Fig. 4 Display result contrast of the linear compression and the designed strengthen arithmetic

分量分别进行直方图均衡和线性压缩,因此保留了图像的细节信息并增强了对比度,图中建筑物的细节清晰可见,并且在增强的同时并没有带来噪声的放大。

5 结 论

提出了一种新型的图像压缩显示算法。在高位数字图像进行压缩之前,先利用高斯低通滤波器对原始图像进行滤波;提取出的低通滤波图像压缩后,采用直方图均衡算法提高图像轮廓的对

比度,并将原始图像与低通滤波器输出的低频图像进行减法运算,提取出图像的细节信息;将未压缩的细节信息与直方图均衡后的低通滤波图像重新组合,形成最终的显示图像。所提出的算法已完全在 FPGA 上实现。实验结果表明,该系统可以实时地将高位宽数字图像显示在模拟显示设备上,所显示的图像保留了原图像的细节信息并很好地抑止了噪声。目前该系统已经成功应用于实际工程项目中。

参 考 文 献:

[1] 陈钱,柏连发,张保民. 红外图像直方图双向均衡技术研究 [J]. 红外与毫米学报,2003,22(6):428-430.

[2] 楚衡,刘华林,朱维乐. 有利图像压缩的小波去噪算法 [J]. 电子测量与仪器学报,2008,22(3):21-25.

[3] 石明江,张禾,河道清. 基于 FPGA 的手持式数字存储示波器显示驱动设计 [J]. 液晶与显示,2010,25 (5): 738-742.

[4] 孙玉胜,白克. 基于小波变换与加权滤波的电机红外图像增强 [J]. 液晶与显示, 2010,25(3): 439-443

[5] Gao Yang. Anisotropic piecewise Gaussian filter of infrared image [J]. *Acta Photonic Sinica*, 2007, 36 (6): 1167-1171.

[6] 方翰华,陈新华,沈国新,等. 基于 FPGA 图像滤波算法硬件化设计 [J]. 电子测量技术,2009,(12):68-71.

[7] Gonzalez R C. *Digital Image Processing* [M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[8] Coltuc D,Bolon P,Chassery J M. Exact Histogram Specification [J]. *IEEE TIP*,2006,15(05):1143-1152.

[9] 李鹏飞,徐金凯,胡立发,等. 人眼像差校正仪成像 CCD 随动控制的设计与实现 [J]. 液晶与显示,2010,25(5): 733-737.

[10] 于涛,曹小涛. 空间相机多功能调焦偏流控制系统 [J]. 液晶与显示,2010,25(5):728-732.