

基于 FPGA 的实时图像 预处理技术在汽车夜视系统中的应用

白秋果, 李志刚, 刘树亭
(东北大学秦皇岛分校 自动化工程系, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 针对红外图像的特点, 提出了汽车夜视系统中图像增强的预处理方案。给出了基于 FPGA 的视频格式转换、快速中值滤波、自适应平台直方图双向均衡化的原理、实现方法及仿真结果。仿真结果表明本方案较好地满足了图像处理效果和处理速度的要求。

关键词: 汽车夜视系统; FPGA; 视频格式转换; 中值滤波; 自适应平台直方图双向均衡化
中图分类号: TN215 **文献标识码:** A

Application of FPGA-based image processing techniques in automotive night vision system

BAI Qiu Guo, LI Zhi Gang, LIU Shu Ting
(Department of Automation Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of infrared images, image processing precept of the automotive night vision system was presented. The principium, implementation method and simulation results of FPGA-based video format conversion, median filtering and adaptive bidirectional plateau histogram equalization were given. The simulation results indicate that the precept meet the requests well in both the image processing effects and processing speed.

Key words: automotive night vision system; FPGA; video format conversion; median filtering; adaptive bidirectional plateau histogram equalization

汽车红外夜视系统作为辅助驾驶系统的一部分, 在提高夜间驾驶的安全性方面起到了重要的作用。但由于受到红外器件发展的限制, 其成像效果不够理想, 影响了汽车红外夜视系统在实际中的应用。在系统中加入实时图像处理功能是最为经济有效的方法^[1]。

为保持图像数据传输和处理的连续性, 图像数据的处理不能导致图像数据传输的阻塞、中断或图像数据的丢失, 因此实时图像处理系统必须具有快速处理巨大数据量的能力。FPGA 以其硬件并行性、编程灵活性等特点, 非常适合实时大数据量的处理。

1 FPGA 图像预处理功能设计

针对红外图像噪声大、对比度低、图像细节分辨能力差等特点, 采用了基于流水线方式的快速中值滤波方法滤除视频图像中的噪声, 采用自适应

《电子技术应用》2009 年第 1 期

平台直方图双向均衡化方法增强视频图像的视觉效果。同时为便于视频图像的处理, 在图像处理前后对视频图像的格式进行了转换。

FPGA 图像预处理功能如图 1 所示。

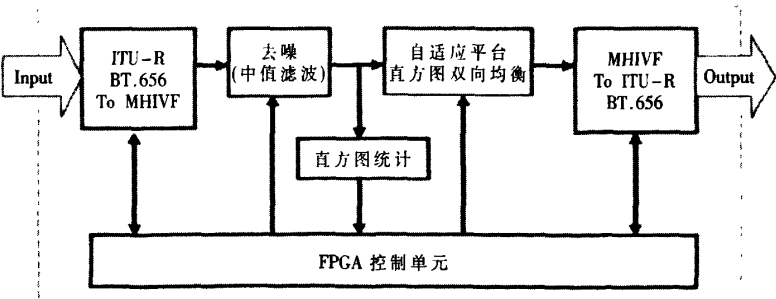


图 1 FPGA 图像预处理功能框图

2 视频格式的转换

汽车红外夜视系统中, 视频图像采集部分的摄像机

输出的模拟信号经 AD 转换后变为符合 ITU-R BT.656 标准的 YUV422 格式数字数据流,其中行起始和结束标志融合在数据流中。为了使视频数据流的表示更加清晰,将其转换为 MHVF(Mithögskolans Interlaced Video Format)格式。在图像处理之后,再将其转换回 ITU-R BT.656 标准数据格式进行 DA 转换输出。ITU-R BT.656 标准的 YUV422 格式数字视频数据流^[2]和 MHVF 的时序关系分别如图 2 和图 3 所示。

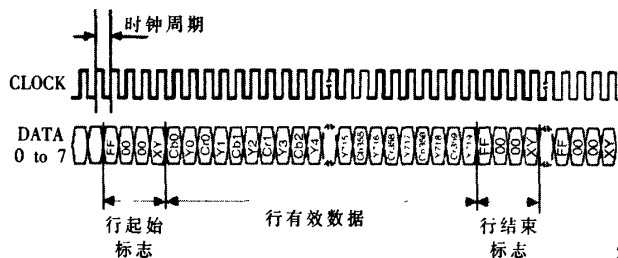


图 2 ITU-R BT.656 YUV422 格式传输一行像素的时序图

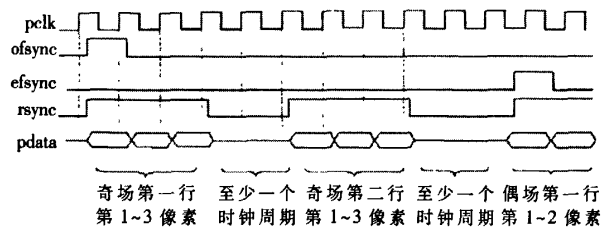


图 3 MHVF 时序关系

图 2 中 Y 表示亮度, C_b 和 C_r 是色差信号。数据流中有两个定时基准信号: 一个在每个视频数据块的开始(Start of Active Video, SAV), 另一个在每个视频数据块的结束(End of Active Video, EAV)。每个定时基准信号由 4 个字的序列组成, 格式如下: FF 00 00 XY (数值以 16 进制表示, FF00 保留仅供定时基准信号用)。头三个是固定前缀, 第 4 个字包含奇偶场标识、场消隐状态和行消隐状态的信息。定时基准信号内的比特分配如表 1 所示。

表 1 定时基准信号第四字比特分配表

7(MSB)	6	5	4	3	2	1	0(LSB)
1	F	V	H	P ₃	P ₂	P ₁	P ₀

注: (1)MSB: Most Significant Bit(最高位);

LSB: Least Significant Bit(最低位)。

(2)F=0 第 1 场; F=1 第 2 场。

V=1 场消隐期; V=0 其他处。

H=0 行起始处; H=1 行结束处。

(3)P₀, P₁, P₂, P₃ 为保护位, 它们的状态取决于 F、V、H 的状态。在数据接收端, 能够进行一位纠错和两位检错。

图 3 中 pclk 为像素时钟信号; ofsync 和 efsync 分别为奇场和偶场同步信号, 每场起

始处第一个时钟周期高电平; rsync 为行同步信号, 行有效期间为高电平, 行间至少一个时钟周期; pdata 为像素数据。

2.1 ITU-R BT.656 转换为 MHVF 的方法及实现

监测到 SAV 标志到来时, rsync 置 1(维持一个时钟周期), ofsync 和 efsync 视 XY 的具体值决定是否置 1。同时对像素个数进行计数, 如果累计值达到了一行像素的个数上限, 则 rsync 置 0, ofsync 或 efsync 也置为 0。等待下一行开始信号的到来, 如此反复。同时由于系统主要应用在光照条件较弱的场合, 采集黑白图像即可, 因此后续图像处理只需要亮度信号即可, 色差信号可以从数据流中去除。从视频数据流的第二个数据开始每两个数取一个便分离出了亮度信号, MHVF 中的像素时钟可以从对工作时钟的二分频得到。整个模块的功能在有限状态机(FSM)的协调下完成。模块结构如图 4 所示。

2.2 MHVF 转换为 ITU-R BT.656 的方法及实现

要完成 MHVF 到 ITU-R BT.656 的转换, 需要在视频数据流每一行的起始和结束位置分别添加 SAV 和 EAV 标志, 同时应添加色差信号 C_b 和 C_r 。为实现上述功能, 设置了四个 8 位寄存器和一个二选一选择器, 由有限状态机 FSM 协调工作。具体实现过程如下: 模块处于等待状态直到 ofsync 或 efsync 和 rsync 到来, 然后视频数据输入到 4 个 8 bit 串行寄存器的第一个。因为 SAV 和 EAV 均为 4 B, 所以视频数据依次通过 4 个寄存器就相当于做了 4 个时钟周期的延时。在这 4 个时钟周期内二选一选择器选择 FSM 产生的 SAV 或 EAV 标志输出, 这样就在数据流中加入了 SAV 和 EAV 标志。在二选一选择器和 FSM 之间设立握手信号, 在添加 SAV 或 EAV 标志的同时, 如果 rsync 有效, 则二选一选择器选择 FSM 产生的 C_b 和 C_r 信号输出, 同时改变握手信号, 这样在下一个时钟的上升沿, 如果 rsync 有效, 二选一选择器会选择从寄存器传来的数据作为输出。如此反复, 就实现了在数据流中添加色差信号 C_b 和 C_r 的功能。因为系统中使用的是黑白图像, 所以为了简化设计, 色差信号 C_b 和 C_r 的值均取十进制值 128。模块结构如图 5 所示。

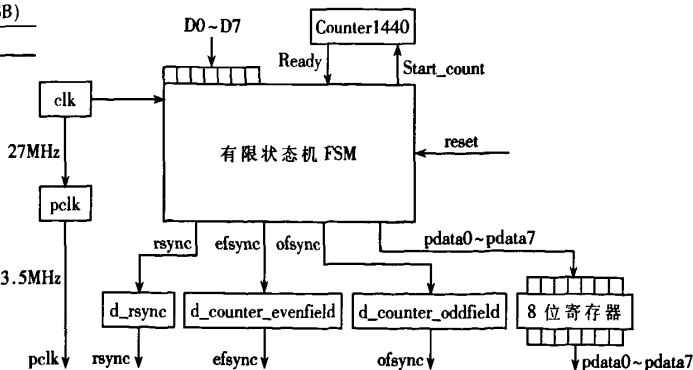


图 4 ITU-R BT.656 转换为 MHVF 的模块框图

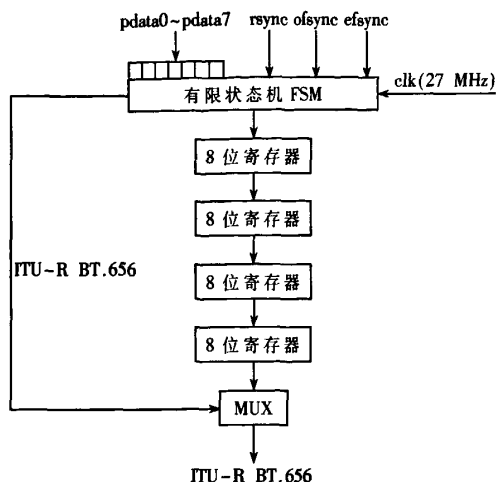


图5 MHIVF转换为ITU-R BT.656的模块框图

为了检验模块功能的正确性,将格式相互转换的两个子模块综合进行了仿真,得到了预期的波形,说明模块正确完成了预定的功能。仿真波形图6所示。

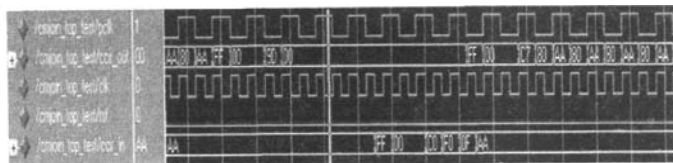


图6 格式转换功能仿真图

3 流水线快速中值滤波

3.1 快速中值滤波的原理

中值滤波^[3-4]是一种非线性滤波技术,它能有效抑制图像噪声、提高信噪比而保持图像边缘。它是一种邻域运算,把邻域中的像素按灰度级进行排序,然后选择该组的中间值作为输出像素值。如果采用3×3模板,则

中值为窗口内排第五位的像素值。由于只需要取出中值,所以没有必要对窗口内的像素值进行全部排序。

将3×3窗口内的各个像素分别定义为 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 、 P_9 ,像素排列如表2所示。

表2 3×3窗口内9个像素的排列

行号	列号	0	1	2
0		P_1	P_2	P_3
1		P_4	P_5	P_6
2		P_7	P_8	P_9

在3×3窗口中共有9个数据,中值的特点是窗口中至多有4个数比它本身大,至多有4个数比它本身小。算法思想是逐步淘汰,整个过程中如果有两个数据相等,算法不受影响。具体过程如下:第一步将各行数据从小到大分别进行排序,并从小到大存放;第二步对三列数据分别进行排序。在第一列数据中取出最大值,第一列中的另外两个数至少有5个数比它们本身大,不可能为中值。在第二列数据中取出中值。对于第二列数据的最小值,至少有5个数比它本身大(本列中另外两个数和第三列中的三个数),不可能为中值;对于第二列数据的最大值,至少有5个数比它本身小(本列中另外两个数和第一列中的三个数),不可能为中值。在第三列数据中取出最小值,第三列中的另外两个数至少有5个数比它们本身小,不可能为中值。这样窗口中值的可能取值只剩下三种可能。对这三个数排序取中值即为窗口的中值。比较过程如图7所示。

本算法第一步的三行排序可以并行,第二步的三列排序也可以并行,整个过程只需要3个时钟周期。由于中值滤波要选取3×3的模板才能完成一个像素点的运算,所以对于一幅图像中的最外面一圈像素,无法生成3×3的模板。真正能够处理的像素点是从第二行第二列

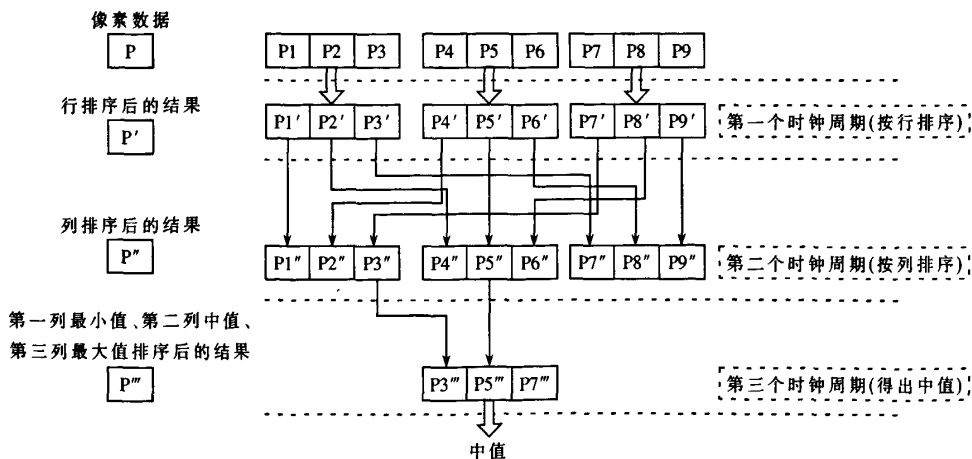


图7 9个像素取中值的数值比较过程

的像素点开始的。对于未覆盖的区域,本系统中采取的方法是用模板的中心值代替。

3.2 快速中值滤波的流水线实现

为了完成中值滤波功能,设置了三个模块:行列计数器模块、3×3 模板生成模块、中值滤波模块。模块结构框图如图 8 所示。

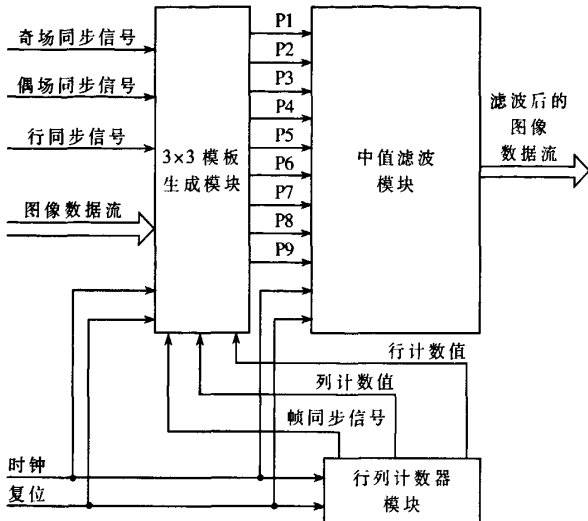


图 8 中值滤波模块结构图

行列计数器模块根据 ofsync、efsync、rsync,利用模块内嵌入的计数器对当前像素所处的行数和列数进行标识。3×3 模板生成模块对串行输入的图像数据流进行缓存,然后根据当前像素所处的位置调整模板中的数据输出。在模板和图像的相对滑动方面,本文采用固定模板滑动图像的方法,并针对此方法提出了一种缓存方案:利用 FPGA 内部的 BlockRAM 开辟两行加三个像素的缓存区域 R,如果一行像素的个数为 W,则 R 所占空间为 2W+3(地址范围为[0,2W+2])。当有新像素输入时,R(2W+1)~R(0)依次赋值给 R(2W+2)~R(1),新像素值存入 R(0)。这种方法的优点是 3×3 模板的 9 个数与 R 中元素的对应位置固定不变,给操作带来了极大的方便。由于每个时钟周期都输出一组模板数据,如果中值滤波模块采用串行单次排序的方法,则在完成一次排序之前又会有两组数据到达,这就会造成数据的大量丢失,直接影响图像的质量;如果让模板生成模块每 3 个周期输出一组数据则会降低系统的运行速度。本文采用 3 级流水线处理方法,当流水线满负荷运转时,每个时钟周期都可以输出中值滤波的结果,极大地提高了吞吐量。

流水操作的中值滤波模块的仿真结果如图 9 所示。

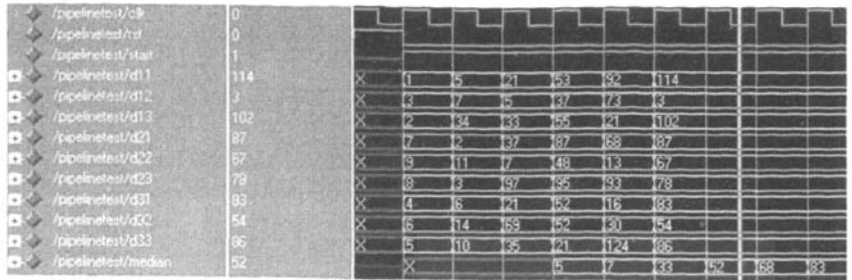


图 9 中值滤波模块流水操作仿真图

采用 TEXTIO 方法读入由单帧图像生成的测试数据进行仿真。中值滤波前后的效果如图 10 和图 11 所示。



图 10 中值滤波前的图像



图 11 中值滤波后的图像

4 自适应平台直方图双向均衡化

4.1 自适应平台直方图双向均衡化的原理

自适应平台直方图双向均衡化是在直方图统计的基础上,通过寻找统计直方图中的局部最大值和整体最大值得出适当的平台阈值,然后利用此阈值修正统计直方图,进而在灰度等级和灰度级间距两方面对直方图进行均衡化^[3]的一个过程。算法原理如下:

首先统计图像的直方图,在统计图像直方图时为落在某一个灰度级上的像素点数设置一个合适的上限阈值(即平台值 T),适度限制占有像素数较多的灰度级的空间拉伸。当某一灰度级的像素数大于平台值 T,则统计的像素数为 T;当某一灰度级的像素数小于平台值 T,则统计的像素数为实际值。因而统计直方图变为:

$$P_T(k) = \begin{cases} P(k), & P(k) < T \\ T, & P(k) \geq T \end{cases} \quad k=0, 1, \dots, 2^m-1$$

其中, m 为表示图像灰度级的位数; k 表示图像的灰度级,对于 8 位的灰度图像, $0 \leq k \leq 255$; T 是平台阈值; $P(k)$ 是图像中第 k 个灰度级的像素数; $P_T(k)$ 是图像的平台直方图。当选取的平台值 T 大于直方图的主峰值时,平台直方图均衡化演化为经典平台直方图均衡化;当选取的平台值过小时,增强图像细节的同时又会增强图像的背景和噪声,达不到预期的效果;因此选择的平台值必须小于统计直方图的主峰值而大于等于直方图中对应于目标的峰值。本文采用一种自适应求取平台值的算法,大大增强了系统的灵活性和适用性。

《电子技术应用》2009 年第 1 期

自适应求取平台值的具体算法^[5]

如下:

(1)统计原图像的直方图 $P(k)$, $0 \leq k \leq M$, 对 $P(k)$ 进行 3 邻域一维中值滤波; 然后选取直方图中的非零单元, 构成集合 $\{F(l) | 0 \leq l \leq L\}$, L 为 $P(k)$ 中非零单元的个数;

(2)找出 $F(l)$ 的局部最大值和整体最大值。对非零单元进行一阶差分运算:

$$F^{(1)}(m) = F(m) - F(m-1)$$

其中, $1 \leq m \leq L$ 。找出 $F(l)$ 中满足下列条件的 $F(l_i)$:

$$F^{(1)}(m-1) > 0, F^{(1)}(m) \geq 0, F^{(1)}(m+1) < 0$$

即 $F^{(1)}(m)$ 的符号在 m 处发生了变化(由正变负), 则 $F(l_i)$ 为局部最大值, 其中 $0 \leq l_i \leq L, 0 \leq i \leq N, N$ 为局部最大值的个数。然后, 由 $F(l_i)$ 求出整体最大值 $F(l_k)$ 。

(3)求出子集 $\{F(l_i) | k \leq i \leq N\}$ 中的均值 $F(l_k)$, $F(l_k)$ 即为估计的平台阈值。此处取子集 $\{F(l_i) | k \leq i \leq N\}$ 的中值效果会更好一些, 但考虑到子集中数据的个数根据图像的不同而不同, 所以要实现排序非常繁琐, 不利于实时实现。用均值代替中值, 加快了运算速度, 同时也取得了令人满意的图像效果。

计算出平台阈值得到平台直方图后, 对灰度级数目进行统计。假设平台直方图的存储单元为 S , 灰度级数目为 M , 令 $M_0=0$, 则:

$$M_k = \begin{cases} M_{k-1}, S_k = S_{k-1} \\ M_{k-1} + 1, S_k \neq S_{k-1} \end{cases} \quad k=1, 2, \dots, 2^m-1$$

上式完成对灰度范围内不为零的灰度级进行累加计算, 从而获得有效的实际灰度级数。 M_k 表示累积直方图中第 k 级灰度之前(包括 k) 的灰度级数目, M_{2^m-1} 即为处理后图像的实际灰度级数。

然后对这些有效灰度级进行重新排序, 在整个灰度范围内作等间距排列, 变换函数为:

$$T_k = \left\lfloor M_k \times \frac{2^m-1}{M_{2^m-1}} \right\rfloor \quad k=0, 1, \dots, 2^m-1$$

T_k 表示第 k 级灰度在新直方图中的灰度值, 也即灰度值 k 经平台直方图双向均衡后要显示的新灰度值。

4.2 自适应平台直方图双向均衡化算法的 FPGA 实现

自适应平台直方图双向均衡化的硬件实现主要由直方图统计模块、平台值计算模块、平台直方图灰度级统计模块、灰度间距计算模块、灰度映射模块、控制模块组成, 如图 12 所示。

平台值计算模块的结构框图如图 13 所示。

输入图像数据在读入的同时进行直方图统计, 直方图数据存入由 FPGA 内部 BlockRam 后

《电子技术应用》2009 年第 1 期

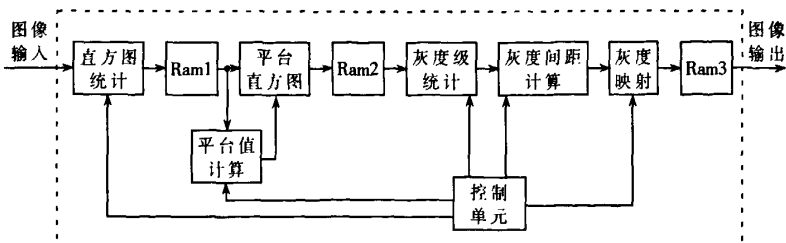


图 12 自适应平台直方图双向均衡化硬件结构图

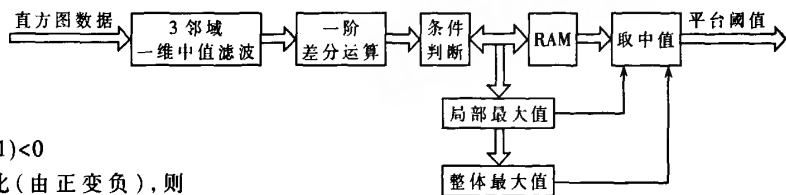


图 13 平台值计算模块功能框图

DistributedRam 构成的 ram1 中, 然后根据平台值计算模块计算出的平台值对统计直方图进行修正得到平台直方图, 存放于 ram2 中。结束后, 从 ram2 中读取数据统计实际的灰度级数, 然后将这些灰度级均匀分布在要显示的灰度级上, 从而减少了灰度冗余, 使呈现图像更具层次感。最后进行灰度映射将映射关系存于 ram3 中, 输入数据可根据灰度值查表输出。这样就完成了对图像的增强工作。其中灰度间距计算模块采用查表法, 以灰度级数做为输入, 把这些灰度级均匀分布在 256 级灰度上的间距提前存入表中。查表只需一个时钟周期, 较除法运算, 速度大大提高。

采用 TEXTIO 方法读入由单帧图像生成的测试数据进行仿真。处理前后图像的效果及直方图如图 14~图 17 所示。



图 14 原图像

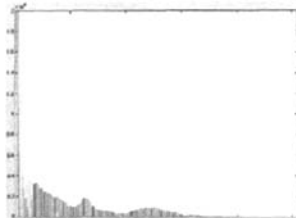


图 15 原图像的直方图



图 16 自适应平台直方图双向均衡化后的图像(平台值=18149)

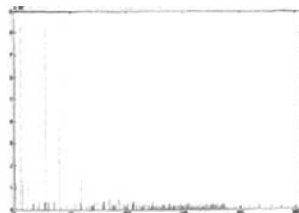


图 17 自适应平台直方图双向均衡化后图像的直方图

快速中值滤波方法有效去除了图像中的噪声,而且很好地保持了图像的边缘,其流水线方式的实现极大地提高了系统的吞吐量。自适应平台直方图双向均衡化可根据图像的不同自动调整用以修正直方图的平台值,增强了图像对比度且保证了图像过渡自然。视频格式的转换使得这两种操作更加方便。图像的预处理将使得汽车夜视系统的成像效果得到极大的改善。

参考文献

- [1] 韩宝玲,黄贞华,何伟.新型汽车红外夜视系统的研究与开发[J].计算机测量与控制,2004(9):874-876.

- [2] 俞斯乐.电视原理(第6版)[M].北京:国防工业出版社,2005:95-145.
[3] RAFAEL C.Gonzalez Richard E.Woods.数字图像处理(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2003:59-112.
[4] 李雷鸣,张焕春,张波.一种基于FPGA的图像中值滤波器的硬件实现[J].电子工程师,2004(2):48-50.
[5] 王炳健,刘上乾,拜丽萍.红外图像实时增强的新算法[J].光电工程,2006(1):46-49

(收稿日期:2008-07-23)

(上接第56页)

该变字长解码器不仅可以成为其他AVS解码器的硬件加速器,同时由于视频编解码标准的相似性,稍加改动即可应用在其他视频标准中,具有很好的应用价值。

参考文献

- [1] 数字音视频编解码技术标准工作组.信息技术 先进音视频编码 第2部分:视频(GB/T 200090.2-2006).中国国家标准化管理委员会,2006.
[2] 颜明,陈咏恩.高效的H.264指数哥伦布解码器设计.现代电子技术,2007(3):71-73.

- [3] 赵策,刘佩林.AVS游程解码、反扫描、反量化和反变换优化设计.信息技术,2007(2):54-57.
[4] 戴春泉,李锦涛,黄晁.适用于H.264视频解码器的VLD设计.计算机工程,2005(13):162-164.
[5] WU Di,GAO Wen,Hu Ming Zeng,et al.An Exp-Golomb encoder and decoder architecture for JVT/AVS.
[6] SHENG Bin,GAO Wen,XIE Don,et al.An efficient VLSI architecture of VLD for AVS HDTV decoder.IEEE,Transactions on Consumer Electronics,52,2,2006:696-701.

(收稿日期:2008-07-30)

行业聚焦 Focus on Industry

通注创新的秘密是专注

——NXP公司保持全球领先地位,直面未来挑战

恩智浦(NXP)公司是全球领先的半导体公司,由飞利浦公司在50多年前创立。恩智浦提供半导体、系统解决方案和软件,为电视、机顶盒、智能识别应用、手机、汽车以及其他形形色色的电子设备提供更好的感知体验。

NXP保持全球领先地位的产品有:

家庭娱乐:全球每2台电视中就有1台使用了恩智浦的芯片;每10台PCTV中有4台使用了恩智浦硅调谐器;电视接收调谐器市场第一位;数字地面式机顶盒射频前端模块市场第一位;创新的PNX5100,全球第一个具有移动精确图像处理技术的视频后端处理器。

智能识别:非接触银行卡解决方案第一位,在35个国家提供大于5亿片银行卡IC芯片;近距离无线通信(NFC)技术第一位;RFID标签解决方案第一位;电子护照第一位,全球超过80%的电子护照采用了恩智浦的芯片;非接触芯片解决方案第一位,已交付超过30亿片IC;70%的公共交通电子票务系统采用了恩智浦的技术。

汽车电子:汽车收音机调谐器市场第一位;汽车收音机数字信号处理器(DSP)市场第一位;车内网络第一位;自动锁死系统和无钥匙门禁系统解决方案第一位。

多重市场半导体:基于ARM的32位微处理器市场第一位;PC逻辑及工业UART市场第一位;每2台笔记本电脑即有1台使用恩智浦GreenChip电源供应控制器;全球小信号分立器件和标准逻辑产品第二位;十余年来在手机动态扬声器和接收器市场第一位。

恩智浦软件:独立的软件供货商,提供移动多媒体软件解决方案;超过3.75亿台设备使用LifeVibes软件。

在一段时间内,将最新的处理技术率先引进市场,并以此作为竞争优势激励着半导体行业的发展。而在今天,这已不再是最重要的因素了,最大的挑战不再是开发最新的处理技术,而在于如何恰如其分的应用最适合的技术。

半导体行业一直以来都是由生产力的提升来推动,但这样的由生产力提升所产生的产品,很可能并不是市场真正所需的。

今天,半导体行业的推动力,来源于如何满足客户对更为优化的、定制的需求。

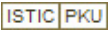
满足客户需求,需要掌握最合适的处理工艺,可能是最新的、最尖端的工艺,也可能是已经普及的90或65纳米工艺。但更为重要的是,需要专注于研发和整合。

NXP的方法:与客户和供应商建立紧密的关系,专注于创新。

欢迎访问:www.nxp.com。

(恩智浦公司供稿)

基于FPGA的实时图像预处理技术在汽车夜视系统中的应用

作者: [白秋果](#), [李志刚](#), [刘树亭](#), [BAI Qiu Guo](#), [LI Zhi Gang](#), [LIU Shu Ting](#)
作者单位: [东北大学秦皇岛分校, 自动化工程系, 河北, 秦皇岛, 066004](#)
刊名: [电子技术应用](#) 
英文刊名: [APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE](#)
年, 卷(期): 2009, 35(1)
被引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [韩宝玲](#), [黄贞华](#), [何炜](#) [新型汽车红外夜视系统的研究与开发](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2004(09)
2. [俞斯乐](#) [电视原理](#) 2005
3. [RAFAEL C. Gonzalez](#), [Richard E. Woods](#) [数字图像处理](#) 2003
4. [李雷鸣](#), [张焕春](#), [张波](#) [一种基于FPGA的图像中值滤波器的硬件实现](#)[期刊论文]-[电子工程师](#) 2004(02)
5. [王炳健](#), [刘上乾](#), [拜丽萍](#) [红外图像实时增强的新算法](#)[期刊论文]-[光电工程](#) 2006(01)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzjsyy200901023.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 201cc792-5b04-4fe0-955c-9df2010c427e

下载时间: 2010年9月15日