

【武器装备】

基于FPGA的某型雷达视频采集
预处理模块设计*

邱震, 靳世红, 王晓东

(防空兵指挥学院, 郑州 450052)

摘要:针对某型高炮射击检查分析系统,介绍了一种适用于某型雷达的视频采集预处理模块,其主要功能是利用雷达摄像头识别弹迹并标记其坐标。该模块选用视频解码芯片和FPGA对视频信号进行控制读取,通过对动目标的检测和定位等预处理操作,得到动目标在图像中的相对坐标,采用串口设备与上位机进行通信,将所得数据送往上位机。实验结果表明,该采集预处理模块结构简单、运行稳定、采集图像速度快、预处理数据精度高,可用于射击检查分析系统中图像识别的前端。

关键词: 动目标检测; 双阈值法; 图像分割; FPGA

中图分类号: V448.15

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)05-0033-03

利用雷达对高炮射击进行检查修正,主要通过分析炮弹弹丸与空中目标间的空间误差进行判断,对雷达视频信号的处理是其中一个非常重要的环节,因此,系统图像采集预处理部分显得尤为重要,该模块采集图像质量的好坏在很大程度上决定着修正值的精确度。

目前,对雷达视频图像采集的方法主要有2种。一是将摄像头采集的电视图像全部发往上位机进行处理,这种方法的优点是可有借鉴的模型;缺点是数据传输量大,图像传输与处理占用较多时间和上位机资源,使得系统实时性降低,无法满足后续工作,需设计高速传输电路。二是采集视频信号后对其进行预处理,仅发送动目标空间坐标到上位机,该方法对通信端口的速率要求较低,但硬件电路设计和算法实现相对复杂。通过分析系统需求,选用后一种方法完成系统功能。

1 系统构成及原理

整个图像采集系统由视频输入单元、FPGA控制及图像预单元、串行通信单元、驱动程序及图像采集存储软件组成,如图1所示。

系统工作原理:系统上电后,FPGA控制单元首先配置视频输入芯片内部参数,视频输入芯片开始工作,将雷达视频信号转换成数字图像的帧频信号、行频信号和像素时钟信号,并将图像数据传送给FPGA内部的FIFO进行缓存处理。通过采用乒乓操作来提高数据处理速度,经过FP-

GA对图像进行预处理后,将测得的弹丸相对坐标数据传输到串行通信单元,上位机软件结合驱动程序,将数据流传输到计算机内部存储器中,并对图像进行更为细致的分析处理得到所需要数据。

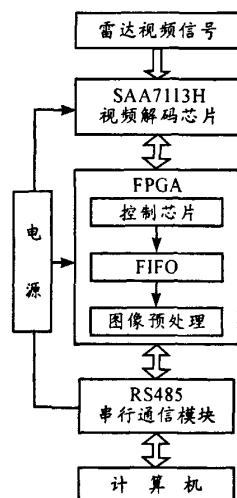


图1 系统整体结构

2 视频输入和FPGA控制单元

视频输入芯片采用Philips公司的SAA7113H芯片^[1],

* 收稿日期:2010-02-25

作者简介:邱震(1983—),男,主要从事嵌入式技术方面的研究。

它是一个高集成度的芯片,功能强大操作简单,可以选择视频源并可抗混叠滤波,同时还可以进行模数变换、自动嵌位、自动增益控制、时钟产生、多制式解码等,另外还可对亮度、对比度和饱和度进行控制。内部锁相环技术的集成极大提高了系统的可靠性,同时降低了设计复杂度。因此,利用SAA7113H可为视频信号的数字化应用(如多媒体、数字电视、图像处理、视频监控、远程办公系统等)提供极大的方便。

FPGA控制单元是整个系统的控制中心,是系统的核心单元,用于管理整个系统的工作和完成与各个外部设备的接口控制逻辑。主要完成的功能有:①对自身I/O接口和有关功能控制寄存器的初始化;②模拟I2C接口完成对SAA7113H芯片和RS485芯片的参数配置;③内部FIFO资源实现图像数据的缓存处理;④对图像数据预处理,将有效图像送往上位机;⑤接收上位机控制命令控制整个系统的功能实现。

为了满足图像的实时性的特点,本文中介绍的图像采集系统采用了Altera公司的Cyclone系列FPGA芯片EP1C6Q240C8^[2]。该芯片具有5980个逻辑单元;内嵌RAM共有92160 bits;包含2个PLL;包含34个差分通道;98个I/O引脚。该芯片采用低成本架构,在性能可以满足应用的情况下,优先选用该芯片,具有较高的性价比。

3 FPGA图像预处理单元

在1个系统周期中,雷达视频采集时间约为3~5 min,采用PAL制式,场频50 Hz,SSA7113H每个有效扫描行有720个像素,对波特率设置为9600 bps的串口而言,传输1帧完整的720×574的图像所耗费的时间是非常惊人的,这将严重影响视频解码的正常进行,并造成图像数据的丢失。为解决这一问题,同时保证系统的简洁高效,设计了图像预处理单元,其实现的功能为:通过动目标检测,识别有动目标的图像帧;进一步分割图像,得到弹丸在图像帧中的相对坐标^[3]。

3.1 动目标检测

视频图像可以分为2种情况:一种是静止背景,另一种是变化背景。针对每一种视频图像动目标检测的理论模型也各不相同,目前对于从视频序列图像中检测运动目标的技术,存在以下几种检测思路:基于背景差分法,基于帧间差分法和基于光流场法。基于帧间差分法是将视频序列图像的相邻两帧进行差分运算以便提取运动目标区域;基于背景差分法是在获得完整的背景图像后将当前帧图像与背景图像进行差分运算,从而提取出目标区域;光流场法是计算图像的光流场,根据图像的光流分布特征进行聚类处理,从而提取出目标区域。

根据系统需要,弹丸的射击点为空间中的某一点,只要将摄像机固定指向该方位即可捕捉到目标,因此射弹目标的检测认为是在静止背景中进行的。弹迹在雷达视窗中停留的时间小于1 s,外界光照条件基本保持不变,在不考虑噪声的情况下,背景基本保持不变;且弹迹与背景

存在较强对比度。以上条件满足基于背景估计法的2个假设。因此,在检测处理方法上选用背景差分法。

背景差分法适用于静止摄像机情况下,它是图像处理领域简单常用的方法之一。通过将当前帧与背景帧的灰度差与设定的阈值比较来判定是否有运动的发生。该方法的主要特点:①需要得到当前环境的背景估计图像;②利用背景图像与当前帧图像的“差”进行目标检测和提取;③与帧间差分方法比较,可以提取出较完整的目标图像。

视频图像序列中的第 k 帧可以表述为

$$I(x, y, k) = M_k(x, y) + B_k(x, y) + n_k(x, y) \quad (1)$$

由式(1),在不考虑噪声的情况下,视频序列图像的内容可分为静止的背景和运动的目标2部分。由于运动目标会遮挡住一部分背景,所以每一帧中的背景并不等于完整背景,而只是完整背景的一部分。随着运动目标的逐帧运动,会使被遮挡的背景逐渐显露出来。而基于背景估计法的视频运动目标检测算法的一个关键技术就是根据一定的准则从连续 k 帧图像中估计出该视频序列图像的完整背景。估计出的完整背景同样适用于视频序列图像以后的各帧。

设 $B(x, y)$ 表示视频序列的完整背景,从第 k 帧开始,一直到第 $k+n$ 帧估计出完整背景,即

$$B(x, y) = O_b[I_k(x, y), I_{k+1}(x, y), \dots, I_{k+n}(x, y)] \quad (2)$$

其中: $O_b[\cdot]$ 表示背景估计算子。常用的有3种获取图像的背景的方法^[4]:统计平均法、基于Kalman滤波的背景减法和自适应背景减法。对于视频序列图像中估计出完整背景后的各帧图像,在不考虑噪声影响的条件下,可以表示为

$$I(x, y, k) = M_k(x, y) + B_k(x, y) \quad (3)$$

即表示为第 k 帧中的背景区域和运动目标区域2部分。显然第 k 帧中的背景 $B_k(x, y)$ 是完整背景中的一部分,因此可以将完整背景划分成第 k 帧中的背景区域和被第 k 帧中的运动目标遮挡住的背景2部分。即

$$B(x, y) = B_k(x, y) + C_k(x, y) \quad (4)$$

其中: $C_k(x, y)$ 表示被第 k 帧中的运动目标遮挡住的完整背景部分 $C_k(x, y)$ 和第 k 帧中的运动对象 $M_k(x, y)$ 在空间位置上完全重合。将第 k 帧图像 $I(x, y, k)$ 与完整背景 $B(x, y)$ 进行差分运算,得到

$$d_k(x, y) = I_k(x, y, k) - B_k(x, y) = M_k(x, y) - C_k(x, y) \quad (5)$$

式(5)表明,第 k 帧视频图像和完整背景的差分图像由运动目标和被运动目标遮挡住的背景部分构成。由于 $M_k(x, y)$ 和 $C_k(x, y)$ 在空间位置上完全重合,因此这样得到的差分图像 $d_k(x, y)$ 中不包含由运动目标引起的显露(或遮挡)的背景区域。

另外运动目标与背景之间的灰度存在着一定的对比度,即 $M_k(x, y)$ 和 $C_k(x, y)$ 之间的差值较大。因此,在不考虑噪声的情况下,在差分图像中属于背景区域的像素的灰度值为零,从而检测出了运动目标。基于背景估计法的视频运动目标检测算法的流程如图2所示。

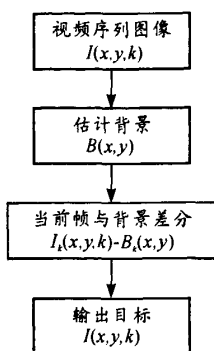


图2 背景差分法流程

3.2 自适应双阈值法分割图像

图像检测出运动目标后,首先对含有目标的部分进行分割,缩小运动目标定位范围。在图像分割实现上,主要有单阈值与多阈值分割方法,这里采用的是一种改进的自适应双阈值分割方法。

通过灰度直方图中图像像素各灰度级的概率分布密度函数的特点,可以将图像的灰度直方图看作是目标和弹的灰度分布密度函数与背景的灰度分布密度函数的迭加效果。当图像中的子弹较多时,背景所占比重相对较小,图像的灰度分布相比较而言稍为分散,它的方差要大于图像中弹迹少、灰度分布集中的图像,由此我们可以得出一帧图像中背景灰度分布的估计值。用合适的阈值分割出的背景,其灰度分布应与我们的估计值相吻合,自适应地与图像中目标密度相匹配。在算法设计上,采用迭代方法,由程序自动搜索合适的阈值^[5]。

首先计算图像的灰度分布,由灰度均值与方差确定背景灰度分布的估计值。选用平均灰度与直方图灰度概率密度最高处的灰度作为2个初始阈值,将图像分为背景与目标两大部分。采用式(6)计算背景与目标的灰度分布函数。计算出灰度分布与背景灰度分布估计函数相比较。如果相等,那么找到了比较合适的阈值分割;如小于估计值,那么继续计算目标所在区域内灰度概率密度最大的位置,并将其作为第2组阈值继续进行计算,直到找出合适的阈值分布,完成对背景与目标的初步分割。

$$B_{pi} = \sum_{k=T_{1i}}^{T_{2i}} h_k \cdot k$$

$$T_{1i} = \max_{k=0}^{T_{1i-1}-1} [h_k], T_{2i} = \max_{k=T_{2i-1}}^{L-1} [h_k] \quad (6)$$

$B_{pi} > B_{p0}$ 时,迭代结束, T_{1i}, T_{2i} 即为所求阈值。

其中: B_{pi} 为背景灰度分布函数; B_{p0} 为由灰度均值与方差估计出的背景灰度分布函数; T_{1i} 为灰度分割阈值1; T_{2i} 为灰度分割阈值2; h_k 为灰度为 k 的像素点个数; L 为灰度级个数。

阈值确定后,可以对图像进行初步地分割,将背景去除,然而此时分割出的目标还无法辨别弹迹,分割出的区域还存在许多颗粒噪声的干扰。

由于弹迹弹迹始终为实心高亮度的,形状与飞行速度

和采样频率有关,可能为圆点也可能是一条细线。弹烟则成云团状,与背景没有明显的边界,比背景稍亮,但亮度又低于子弹,在图像中显得大而稀薄。根据这些目标的形状、大小、亮度、密实程度的不同,可以对目标进行判断与区分,剔除图像中的假目标——弹烟,并且解决了天气、光线等因素对目标提取的影响。

多目标检测的问题在这里转化为多连通域计算的问题。通过计算连通域的面积与周长,判断目标的大小与形状;通过计算连通域中像素的均值与方差,可以判断目标的密实度。连通域采用邻域法计算,根据连通域的大小,可由式(7)计算出目标的几何中心,从而推断出其空间坐标。

$$X_m = \frac{\sum_{i=0}^N x_i}{N}, Y_m = \frac{\sum_{i=0}^N y_i}{N} \quad (x_i, y_i) \in D \quad (7)$$

其中: D 为连通域; N 为连通域大小。

4 串行通信单元

图像预处理后得到弹迹的空间坐标。通过串行通信设备与上位机进行通信,将坐标数据传至上位机。通信单元受远距离通信的限制,未选用USB和RS232等设备,而是选用RS485串口设备,该设备具有传输距离远(约1.5 km),驱动程序编写简单等优势。波特率设置为9 600 bps,其通讯能力完全可以满足弹迹方位坐标的数据通信量。串行通信结构如图3所示。

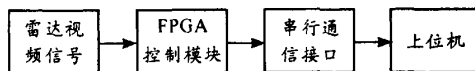


图3 串行通信结构

5 实验结果

系统整体测试过程中,在良好天气条件下,单一背景中运动目标受噪声影响小,目标识别率高,测得弹丸空间坐标误差较小,基本符合系统设计要求。系统与雷达联机试验时,对雷达无损害,不影响雷达通过摄像头对目标进行正常捕捉,系统工作无不良情况发生,工作稳定性较好。

6 结束语

设计了基于FPGA的雷达视频采集预处理模块,重点介绍了基于帧间差分法的弹迹目标识别和基于自适应双阈值的弹迹坐标计算,完成了算法的设计。使用SAA7113H将捕获的模拟图像转换为数字图像,通过FPGA对模块进行配置、控制和预处理,将处理得到的数据经串行通信设备送至上位机做进一步处理。在实际测试中,该模块采集的数据基本能够满足射击检查分析系统的需求,且具有良好的稳定性和较高的性价比。(下转第42页)

高了擦拭效率,节约了人力,从某种意义上可以说是提高了战斗力。身管内膛擦拭的重要意义还在于其对内弹道的影响,无论是首发近弹还是膛膛乃至膛炸,均表明起始弹道阶段挤进过程中的弹丸挤进压力的变化对内弹道性能影响十分明显。身管内膛尤其是膛线起始部擦拭效果如何与擦拭剂、擦拭工艺密切相关。因此,研制新的擦拭剂、开发新的擦拭工艺并探索擦拭效果对内弹道的影响规律仍值得深入研究。

参考文献:

- [1] 张相炎,郑建国,杨军荣. 火炮设计理论[M]. 北京:理工大学出版社,2005.
- [2] 朱绒霞,那静彦. 膛膛清洗的新工艺[J]. 清洗世界,2004,20(1):38-40.
- [3] 张广苏. 自行火炮兵器操作与阵地指挥[D]. 南京:炮兵学院南京分院,2006.
- [4] 赵京鹤. 炮管内膛清洗机研制[D]. 长春:长春理工大学,2008.
- [5] 曾德聪. 炮管擦洗机器人机械系统设计与分析[D]. 南京:南京理工大学,2009.
- [6] 王刚. 火炮内膛高压水擦洗自动控制系统[J]. 采矿技术,2005,5(2):48-49.
- [7] 郝鹏飞,张晓东,董志国. 磨料流技术及其在火炮膛加工擦拭中的应用[J]. 机械管理开发,2008,23(4):119-120.
- [8] 金志明,翁春生. 火炮装药射击安全学[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [9] 张喜发,卢兴华. 火炮烧蚀内弹道学[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [10] 彭志国,周彦煌,何锁. 火炮膛涂油挤进摩擦模型与分析[J]. 弹道学报,2007,19(3):68-72.
- [11] 宋卫东,靳秀文. 火炮首发近弹现象试验分析[J]. 华北工学院测试技术学报,2000(14):453-456.
- [12] 金志明,翁春生,张国强. 膛炸模式及其机理分析[J]. 兵工学报,2001,22(4):448-451.
- [13] 朱绒霞,那静彦. ELS 清洗剂的性能研究[J]. 应用化工,2004,33(4):53-54.
- [14] 朱绒霞,那静彦. 膛膛清洗的新工艺[J]. 清洗世界,2004,20(1):38-41.
- [15] 朱绒霞. 膛膛残留铜垢清除的研究[J]. 腐蚀与防护,2005,26(3):112-113,119.
- [16] 谭胜,付洪瑞,王士钊,等. QF 膛膛擦拭剂的研制[J]. 机械工程学院学报,2007,19(1):45-46,54.

(责任编辑 周江川)

(上接第35页)

参考文献:

- [1] 孔祥刚,诸静,阳涛. SAA7113H 在视频采集接口设计中的应用[J]. 电子技术,2003(12):26-29.
- [2] 刘幅,楼兴华. FPGA 数字电子系统设计与开发实例导航[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [3] 林茂六,卢鑫,金雪松,等. 一种基于互信息量的自适应快速视频编解码方案[J]. 重庆邮电大学:自然科学版,2010(1):84-88.
- [4] 赵晓丽,韩炎. 复杂背景下运动目标的检测[J]. 华北工学院学报,2005(2):149-152.
- [5] 宋磊,魏银库,靳世红,等. 防空射击评价系统中的多目标提取与定位[J]. 信息和电子技术理论与应用,2004(9):35-37.

(责任编辑 周江川)

基于FPGA的某型雷达视频采集预处理模块设计

作者: [邱震](#), [靳世红](#), [王晓东](#)
作者单位: [防空兵指挥学院, 郑州, 450052](#)
刊名: [四川兵工学报](#)
英文刊名: [JOURNAL OF SICHUAN ORDNANCE](#)
年, 卷(期): 2010, 31(5)
被引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [孔祥刚, 诸静, 阳涛. SAA7113H在视频采集接口设计中的应用\[J\]. 电子技术, 2003\(12\):26-29.](#)
2. [刘韬, 楼兴华. FPGA数字电子系统设计与开发实例导航\[M\]. 北京:人民邮电出版社, 2005.](#)
3. [林茂六, 卢鑫, 金雪松, 等. 一种基于互信息量的自适应快速视频编解码方案\[J\]. 重庆邮电大学:自然科学版, 2010\(1\):84-88.](#)
4. [赵晓丽, 韩炎. 复杂背景下运动目标的检测\[J\]. 华北工学院学报, 2005 \(2\):149-152.](#)
5. [宋磊, 魏银库, 靳世红, 等. 防空射击评价系统中的多目标提取与定位\[J\]. 信息和电子技术理论与应用, 2004\(9\):35-37.](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_scbgxb201005012.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 25481a00-1609-4f6f-85a4-9df201160de4

下载时间: 2010年9月15日