

基于红外图像的内河船舶检测系统设计

周 华,黄席樾,刘 俊,沈志熙,何乃甩

ZHOU Hua,HUANG Xi-yue,LIU Jun,SHEN Zhi-xi,HE Nai-shuai

重庆大学 自动化学院 导航制导与系统研究所,重庆 400044

Research Institute of Navigation & Guidance & Systems Engineering,College of Automation,Chongqing University,Chongqing 400030,China

E-mail:huazhou211@163.com

ZHOU Hua,HUANG Xi-yue,LIU Jun,et al.Design for detection to ship in inland based on Infrared image.Computer Engineering and Applications,2008,44(9):208-211.

Abstract: The existing states and features of inland ship traffic are represented and infrared image process is analyzed to be feasibility to anti-collision in inland ship traffic safety system,ship objects detection system on DSP is designed in this paper. Hardware of system is DSP+FPGA structure mode that is flexible structure,versatility,modularize design.Detection method of system is based on bank waterline detection method and window object detection method,experiments in ChangJiang shows the detection system designed in the paper is feasible,availably to detect ship object.

Key words: DSP;FPGA;Infrared image;object detection

摘 要:阐述了内河船舶交通的现状和特点,分析了红外图像处理在内河船舶交通安全系统主要针对船舶避撞的优势和可行性,设计了以 DSP 为核心的内河船舶目标检测系统,系统的硬件采用了结构灵活、通用性强、适于模块化设计的 DSP+FPGA 结构方式;软件部分采用了一种岸水线检测方法和基于窗口的目标检测方法,通过在长江上进行现场实验表明所设计的检测系统是可行的,能有效地检测到船舶目标。

关键词:DSP;FPGA;红外图形;目标检测

文章编号:1002-8331(2008)09-0208-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

1 引言

我国拥有 13.51 万公里的内河航道^[1],船舶总吨位居世界第五位,伴随着我国内河航运的巨大发展,船舶朝着大型化、高速化方向发展,船舶数量与水域交通密度及危险货物装载量不断增加,船舶相撞、船桥相撞、船触礁等事故的发生越来越频繁,严重威胁船舶航行安全及江河生态环境。

目前内河船舶大多的导航、助航设备有雷达、VHF 无线电话、电罗经、GPS 导航以及少量的船舶安装自动识别系统 AIS。但这些设备不能很好解决船舶避撞的问题,比如 VHF 存在大量的人工操作,难免会发生信息交换过程中的失误;现有船舶配置的雷达,属于 20 世纪 70 年代的相对运动雷达,障碍目标只是一个光点,甚至随时都存在有假象,受到电磁干扰或天气恶劣时,无法正常工作,可靠性低;GPS 由于地域部门的利益,在国内技术标准一直没有统一,对于避撞无用。

红外成像设备具有抗干扰能力强,气候环境适应性强,昼夜连续被动探测^[2],能提供大量直观信息等特点,特别适合于有雨、有雾、夜间等恶劣天气状况。由于红外目标检测、跟踪和识

别的优势,可以为雷达、GPS 等设备提供一种直观视觉信息的补充,与其它数据检测设备进行数据融合,为船舶安全航行提供更加可靠的依据。本文设计出的基于 DSP 的红外图像内河船舶目标检测系统,能有效地克服不良气候的影响,对减少内河轮船碰撞事故发生具有积极作用。

2 系统的硬件平台设计

2.1 总体设计

系统采用的 DSP+FPGA 结构具有极大的灵活性,通用性,适于模块化设计,能够提高算法效率,缩短开发周期,系统易于维护和扩展。系统以 TI 公司的 TMS320C6416 芯片为核心,制定由“DSP+FPGA+专用视频解码器+专用视频编码器+帧存储器”构成视频采集、处理、显示系统的硬件设计方案,系统的逻辑框图如图 1 所示。

由图 1 可知:红外 CCD 面阵探测器将温度信号转换为模拟红外视频信号后,经过视频采集卡转换为数字视频信号送到 FPGA,FPGA 对视频信号进行预处理,并将预处理后的数据送

基金项目:重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC,2006BA6016)。

作者简介:周华(1982-),男,在读硕士研究生,从事系统设计、图像处理的研究;黄席樾(1943-),男,教授(博导),主要研究领域为机器人技术、智能交通、专家系统等。

收稿日期:2007-07-12 **修回日期:**2007-09-27

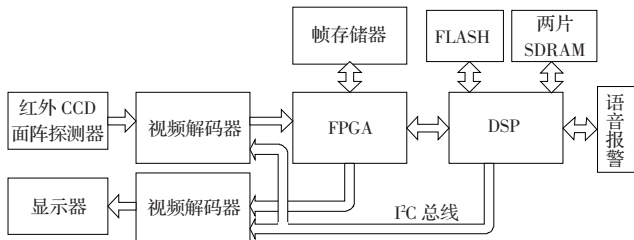


图1 系统框图

到 FPGA 内部 FIFO 中供显示用,同时在视频同步信号的驱动下产生相应地址,将预处理后的数据送到由 RAM1 和 RAM2 构成的帧存储器中,DSP 读取数据到 SDRAM 中并通过一定的算法对图像处理,检测出船舶目标,并判断目标是否危险,若危险通过 McBSP 驱动语音报警器报警,然后将船舶的位置信息和波门大小传送给 FPGA,由 FPGA 完成视频叠加并将图像显示在屏幕中。

2.2 视频编解码模块

视频编解码模块负责将摄像头传来的模拟数据转换为数字信号,同时将 FPGA 完成视频叠加之后的数据转换为模拟视频信号输出到显示器。模块采用 Philips 公司的 SAA7111A 和 SAA7121H 作为视频编解码芯片,其中,SAA7111A^[3]输入可兼容 NTSC 和 PAL 两种制式,支持 4 路模拟输入端,可以兼容 4 路 CVBS,内部包含 2 路模拟处理通道,集成了抗混叠滤波、梳状滤波,并具有自动钳位、自动增益控制、时钟产生等功能。它的所有同步信号都由引脚直接引出,从而省去了以前时钟同步分离电路的设计。SAA7121H 支持 NTSC-C、PAL-B/G 及其子标准,支持所有标准的隔行和逐行扫描操作。输入信号可以是 Cb-Y-Cr(CCIR 656)或者 MPEG 解码数据;对 Y、C 和 CVBS 有三个数模转换器,基本编码函数由副载波生成、彩色调制和同步信号内插组成。

系统中采用 DSP 的通用 I/O 口模拟 I²C 总线完成视频编解码工作状态的设置,系统中采用 PAL 制式,在 I²C 总线初始化电路中,SAA7111A 和 SAA7121H 均作为从设备,接受主设备 C6416 的寄存器设置。由于系统针对红外图像,所以将数字视频的输出格式设为 4:1:1 格式的 YUV 信号,只将 SAA7111A 的 VPO [8:15] 和相应的同步信号与 FPGA 的引脚直接相连;SAA7121H 与 FPGA 内的 FIFO 通过 FPGA 的引脚相连,实现数据的实时显示。

2.3 FPGA 模块

系统采用 Altera 公司的 Stratix 系列 EP1S40F1020 型 FPGA 完成视频信号的采集、预处理、存储、视频叠加。该芯片为通用型 FPGA,主要用于高速连接、大容量存储、数字信号处理等应用领域。

通过对视频编码器内部寄存器的设置,确定图形格式为 720(点)*572(行),分为奇偶两场分别传送,每场的分辨率为 720(点)*286(行),系统算法要求一帧图像分辨率为 640*480 像素,因此在对图像进行采集时要对图像信号进行奇偶场合并和剪裁,避开场消隐、行消隐信号和部分有效信号,取摄像机输入视频信号的中间的 640*480 像素数据。FPGA 内部逻辑结构图如图 2 所示,主要由地址、控制信号单元、预处理单元、乒乓开关、视频叠加单元、EMIF 总线控制单元和 FIFO 缓冲等组成。控制单元逻辑结构框图如图 3 所示,4 个计数器在视频时序信号的驱动下产生相应的信号驱动地址、控制信号产生单元发出

地址、控制信号,实现有效的保存数据、抛弃无效数据、触发 DSP 读取数据、控制转换开关、为预处理单元提供时序信号等功能,考虑到视频图像数据的大流量和实时性要求,采用乒乓缓存机构。

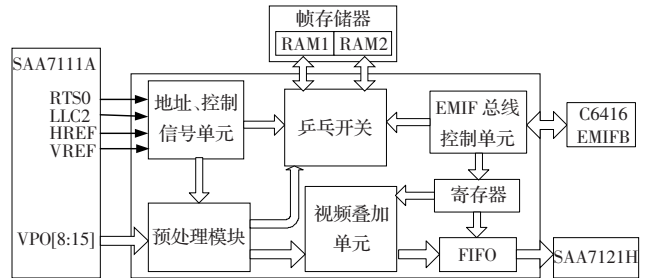


图2 FPGA逻辑框图

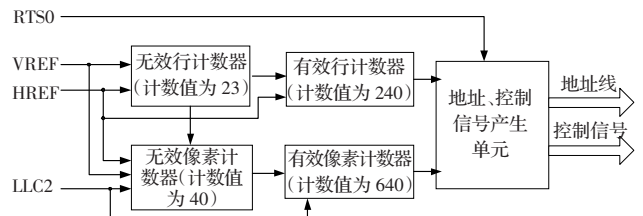


图3 控制单元逻辑框图

FPGA 内部还完成对图像进行锐化和中值滤波预处理,预处理单元逻辑结构如图 4 所示,由于红外成像是低对比度、低信噪比且边缘比较模糊图像,为了补偿图像轮廓的处理方法,加强图像轮廓,使图像看起来比较清晰,在 FPGA 内部进行图像锐化处理,锐化处理后的图像数据直接输入叠加电路,经视频叠加后输入由 FPGA 的 Block RAM 配置的 FIFO 中;由于中值滤波能有效地降低图像噪声而保护目标图像边缘,在 FPGA 预处理单元中同时对图像进行中值滤波,抑制红外图像噪声。处理后的图像数据在地址、控制信号单元控制下通过乒乓开关被存入帧存储器中。当一帧图像采集完之后触发 DSP 以 ED-MA 方式存入到 SDRAM 中,供 DSP 检测目标。预处理单元采用内部存储器并行结构,利用 FPGA 器件内部的 RAM 资源,在处理结构中集成了部分存储单元,在体系结构设计中,整个算法的实现采用了流水线机制。

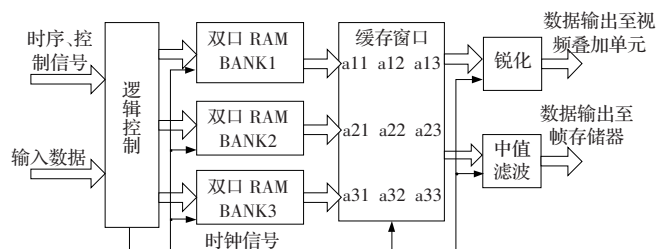


图4 预处理单元逻辑框图

2.4 数字图像处理模块

模块以 DSP 为核心,辅以 SDRAM 和 FLASH 等外围器件,完成目标检测核心算法,SDRAM 选用两片 Hynix Semiconductor 公司的 HY57V283220T,存储容量为 4 banks*1 Mbit*32 bit,时钟主频为 200 MHz,这样就保证了工作时所需要的存储容量和实时性的要求。FLASH 选用一片美国 AMD 公司的 AM29LV033C,它的存储容量达 4 M*8 bit,数据存储周期可达 70 ns。

在系统中,C6416的CPU工作于600MHz(<http://www.ti.com>),它通过EMIFB在FPGA的控制下,将帧存储器中的图像数据读入,同时将视频叠加时波门位置和大小信息送给FPGA内部的寄存器;在检测到危险目标时通过McBSP多通道串口驱动语音合成芯片发声报警。

在系统设计中,合理地组织缓冲区数据,减少内存访问冲突是至关重要的。系统中C6416存储空间分配如下:

EMIFA_CE0:设置为SDRAM方式,采用两片HY57V283220T构成了32M字节存储单元,用于存放程序运行过程中需要用的临时图像数据、图像处理中间数据、程序代码、FLASH中的预置数据等。

EMIFB_CE0:设置为异步存储器方式,设置通过FPGA读取帧存储器的访问空间。

EMIFB_CE1:设置为异步存储器方式,与AM29LV033C相连,用于存放二次引导程序及其它的代码。因为系统中C6416设置为ROM加载方式,系统上电复位后,从EMIFB的CE1空间中拷贝1KB数据到内部RAM地址0处,而1KB的数据量是远远不够的,要达到DSP的高速运算,又不能将大量代码放在外部ROM中运行,因此必须在这1KB代码数据中编写二次引导程序,将其他的代码拷贝到RAM中运行。

EMIFB_CE2:设置为FPGA的内部寄存器,用于传递波门数据和给FPGA的设置。

3 软件设计

通过分析实地采集的红外图像,内河红外图像的特点主要表现在:内河船舶目标的背景一般有天空背景、河面及水波背景、山地、峡谷背景、沿岸的地面建筑物等等,很多背景比如岸上房屋、悬崖上的岩石、水岸的消落带等的亮度高于目标船舶,亮度的所占区域均大于目标船舶,目标与背景融合得很厉害,目标检测的难度加大;内河红外目标是对内河船舶航行安全航行有重大影响的其他船舶(多个目标)、桥梁(桥墩)、礁石、航标等与背景的温度差相对较小;红外图像反映的是热辐射差,对温度极为敏感,影响因素极为复杂,而内河环境的多样性决定了内河红外图像受大气、季节、气候(雨、雾等)、时间的影响很突出。

该系统的目标检测算法主要针对内河红外图像目标特征设计,为了适应对不同背景、不同时间下目标的准确检测以提高系统的自适应能力,检测算法分为图像质量评估、干扰抑制、岸水线检测和检测四部分。检测算法流程图如图5所示,处理结果如图6所示。首先通过MATLAB研究算法的可行性,然后在VC++中对动态图形处理验证算法的可行性,最后在TI的CCS(Code Composer Studio)中调试完成,最后运行在DSP中完成图像处理的全部算法,DSP的程序全部用标准C语言写成。

3.1 图像质量评估

图像质量评估的目的主要是根据图像的灰度特性判断图像是否需要干扰抑制处理,这对排除干扰是否能准确检测出岸水线有至关重要的作用,论文采用均方误差(MSE)方法^[4]完成图像质量评估。设 g 为均值, $f(x,y)$ 为坐标为 (x,y) 处的像素值,则均方误差的计算公式为:

$$MSE = \frac{\sum_{x=1}^{m} \sum_{y=1}^{n} [g - f(x,y)]^2}{m \times n}$$

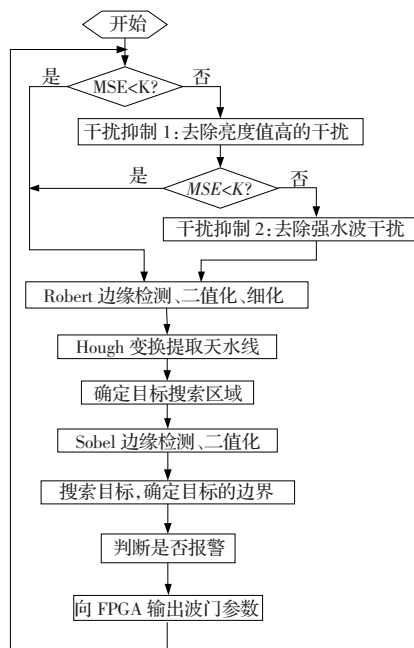


图5 算法流程图

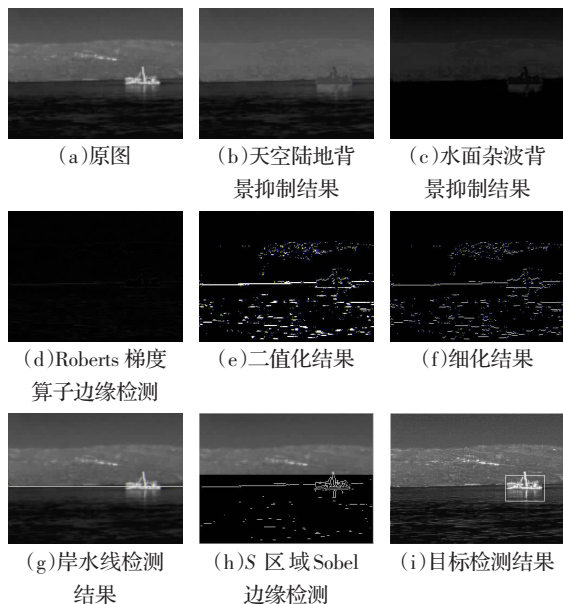


图6 算法处理结果

将均方误差计算的结果与通过统计特性设定的阈值比较,计算结果大于阈值时对图像进行干扰抑制处理,小于阈值时跳过干扰抑制直接进入后面的图像处理环节。经过实验确定将阈值设定为25后的结果与主观具有很好的一致性。

3.2 干扰抑制

干扰抑制使天水线的检测更准确,主要分为两个部分,分别为去除天空、陆地区域中地面建筑、连续的岩石等目标和水面区域强水波的干扰。由于这两个区域干扰目标的特性不一样,对它们分别采用不同的抑制措施,天空和地面目标的灰度值一般都处于图像最高灰度级,它们与周围环境之间的梯度常大于天水线两侧的梯度,假设图像中像素的灰度值为 $f(x,y)$,图像中像素总数为 $M \times N$,需要消除亮度值高的像素比例为 R , $f_{(M \times N) \times R}(x,y)$ 表示当灰度值从高到低排列时的第 $M \times N \times R$ 个像素的灰度值, r 表示像素 (x,y) 的八邻接像素中的最低灰度值,预

处理后像素对应的灰度值为 $g(x, y)$, 则

if $f(x, y) \geq f_{M \times N \times R}(x, y)$ then $g(x, y) = r$

if $f(x, y) < f_{M \times N \times R}(x, y)$ then $g(x, y) = f(x, y)$

处理结果如图 6(b)所示。

强水波干扰在水面区域所占的像素较多,其灰度值分布在整幅图像的均值附近,设 f_{mean} 为计算得出图像均值,设处理后像素对应的灰度值为 $h(x, y)$, 则^[5]

if $f(x, y) > f_{mean}$ then $h(x, y) = f(x, y) - f_{mean}$

if $f(x, y) \leq f_{mean}$ then $h(x, y) = 0$

处理结果如图 6(c)所示。

3.3 岸水线检测

岸水线检测对于减少后续目标检测等工作的计算量、抑制海天线区域以上虚假目标的干扰有重要的意义。事实表明,如果目标出现则一定出现在岸水线附近或水面区域,不可能出现在河岸及以上的天空区域,论文主要通过 Roberts 梯度算子边缘检测、二值化、细化,最后利用 Hough 变换提取天水线^[6]。Roberts 边缘检测用于提取水面和岸天的分界线,由于海天线是水平方向上的,所以本文只求取图像上垂直方向的梯度,处理结果如图 6(d);二值化和细化主要提高 Hough 变换检测岸水线精度和实时性,在二值化过程中,假设非边缘像素个数占像素总数的比例为 Hratio,首先进行直方图统计,然后从低灰度级开始累加每个灰度级像素个数,直到累加的像素个数占总像素数的比例是 Hratio 时,将此时的灰度级作为二值化的阈值,处理结果如图 6(e);细化主要是将沿垂直方向线段简化为一个像素,处理结果如图 6(f);岸水线检测主要是通过检测 Hough 参数空间中的所有局部最大值^[7],找到一组对应的直线,本文为检测图像中直线为最长的,所以检测出参数空间的最大值即可,检测结果如图 6(g)所示。

3.4 目标检测

岸水线检测出来之后,将岸水线以上 20 行区域以及岸水线以下区域作为目标搜索的区域,定义为 S 。由于船舶目标区域灰度的不均匀及其边缘特性,在 S 区域对图像进行 Sobel 边缘检测并二值化之后,目标船舶区域像素值为 255 像素个数一定最多,处理结果如图 6(h)所示。采用窗口搜索方式,在原图像的 S 区域进行 Sobel 边缘检测并二值化,然后选定一个 30×30 的窗口,在 S 区域滑动窗口,当搜索完 S 区域后,将窗口内像素灰度值为 255 的像素个数最多的区域定义为 W_{max} , 对应的像素个数定义为 P_{max} , 以 W_{max} 为中心,在 S 区内用 30×30 窗口分别向上、下、左、右搜索像素值为 255 的像素个数,与 P_{max} 作比较,当像素个数之差小于 $P_{max}/3$ 时就继续搜索,直到搜索区域的边界,当像素个数之差大于 $P_{max}/3$ 时则停止搜索,转向别的方向直到四个方向都搜索完毕,这样可得到四个方向的边界坐标,通过边界坐标得到目标的大小,进而设置波门的大小,目标搜索结果如图 6(i)所示。

4 实验结果

为了验证系统工作的稳定性以及算法的可靠性,在长江航

道上不同的江段、时间段、不同天气条件下进行了多次实验。第一次实验是在长江的重庆到奉节,系统连续工作 72 小时,选取其中的没有月光晚上随机抽取红外图片 800 张进行统计。第二次是在长江的重庆到宜昌段,系统连续工作 92 小时,取大雾天气,能见度小于 200 米时,随机抽取红外图片 900 张进行统计。第三次是在长江的重庆到秭归段,系统连续工作 64 小时,在有大雨的情况下,随机抽取红外图片 700 张进行统计。第四次是在长江的重庆到宜昌段,系统连续工作 64 小时,在晴天阳光比较强烈的情况下随机抽取红外图片 500 张进行统计,实验结果如表 1 所示。

表 1 实验结果

实验序号	实验环境	统计次数	正确检测次数	漏报率	误报率
1	晚上	800	745	2.34%	4.55%
2	大雾	900	854	1.83%	3.27%
3	大雨	700	649	2.52%	4.83%
4	晴天	500	451	2.04%	7.82%

由实验结果可知,系统能长时间工作且稳定可靠,在通常认为比较恶劣的天气条件下,比如大雨大雾,系统对目标具有很好的检测效果,而对于通常认为比较好的天气情况,比如晴天,检测效果反而下降,其原因是在晴天特别是阳光比较强烈的情况下,目标与背景热辐射相差很小,有的背景比如水岸的消落带甚至比目标热辐射还要强烈,这需要以后进一步改进算法以更好地识别目标。

5 结语

红外成像技术以其独特的优势,被越来越广泛应用于民用方面,在内河交通系统中,它不仅能恶劣的气候条件下正常工作,还能提供非常直观的视觉信息。通过大量的船上调研和实验,设计了一个将红外成像技术、图像处理技术和擅长于数字信号处理的数字信号处理器(DSP)融合在一起的内河船舶的检测系统,并验证得到该检测系统能有效快速地检测到内河船舶目标,为以后的基于红外图像处理的内河船舶防撞系统的设计奠定了基础。

参考文献:

- [1] 第二次全国内河航道普查主要数据公报[R].中华人民共和国交通部,2004-02-27.
- [2] 常本康,蔡毅.红外成像阵列与系统[M].北京:科学出版社,2006.
- [3] Data sheet of SAA7111A enhanced video input processor[Z].philips Semiconductors, 1998.
- [4] Wang Zhou, Bovik A C. Modern Image Quality Assessment[M]. USA: Morgan & Claypool, 2006.
- [5] 董静,覃喜庆.一种复杂背景下红外目标提取的实时性算法[J].光学与光电技术, 2005(8).
- [6] 刘松涛,周晓东,王成刚.复杂海空背景下鲁棒的天线检测算法研究[J].光电工程, 2006(8).
- [7] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.