

文章编号:1007-2780(2009)01-0116-05

多功能一体化模拟摄像机系统设计

张旭东^{1,2}, 王景峰¹, 程永强^{1*}

(1. 太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024, E-mail: jfwang985@126.com;
2. 山西警官高等专科学校 公安管理系, 山西 太原 030021)

摘 要: 设计了一种全新架构的多功能一体化模拟摄像机系统。利用 FPGA 驱动电机实现变倍、光圈控制等功能, 并且采用一种改进的灰度差分法作为聚焦评价函数, 配合相应的搜索策略来控制步进电机的聚焦方向, 实现图像的自动聚焦。

关 键 词: FPGA; 步进电机; 自动聚焦; 光圈控制
中图分类号: TN911.71 **文献标识码:** A

1 引 言

一体化模拟摄像机因其体积小、价格低廉和安装简便等原因越来越广泛地应用于监控、教育、医学等领域。生产厂家一般采用“图像传感器套件+简易镜头”或是“图像传感器套件+光学镜头+单片机”的方案。前一种方案虽然成本较低, 但功能单一, 没有变倍、自动聚焦和自动光圈等功能; 后一种方案可以通过单片机来驱动光学镜头实现变倍、自动聚焦和自动光圈的功能, 但受单片机限制不利于功能扩展和产品升级。

本文设计的摄像机采用“图像传感器套件+光学镜头+FPGA”的设计方案, 图像传感器套件用于图像的采集, 可输出模拟复合视频信号和 PAL 制数字 YUV 格式信号; FPGA 完成对图像传感器套件中 DSP 的初始化, 并且可实现光学镜头变倍、自动聚焦及光圈控制等功能。由于 FPGA 不仅提供了丰富的逻辑资源, 还提供了丰富的 IP 核和大量片内存储器 (Black RAM)^[1,7], 而且拥有强大的并行处理能力, 因此能方便实现聚焦等算法, 其灵活的系统编程特性也为系统升级提供了保证。

2 系统结构

系统结构框图如图 1 所示。图像传感器套件采用夏普 (SHARP) 公司的产品, 主要由 47 万像素 CCD RJ2361、A/D 转换器 IR3Y48A1 和专用 DSP LR38603A 等组成。FPGA 采用赛灵思 (XILINX) 公司的 XC3S250E。CCD 采集到的图像数据经过 A/D 转换和 DSP 处理后输出复合视频信号和分辨率为 738×575 的 PAL 制 YUV(4:2:2) 格式的数字视频信号, 其中复合视频信号直接送出到复合视频信号接口, 通过监视器直接显示图像。因为 FPGA 实现自动聚焦功能只需要 YUV 信号里面的亮度信号 Y, 所以把亮度信号 Y 连同行场信号和像素时钟一同输入 FPGA。FPGA 利用亮度信号 Y 进行聚焦效果评价, 将相邻帧的评价结果做对比后判断出聚焦方向, 确定方向后驱动步进电机进行聚焦。FPGA 通过 SPI 通信方式取得 DSP 中特定寄存器记录的当前光圈情况下的亮度分析值, 若该值超出设定的某一范围, 则调整 PWM 脉冲进行光圈控制。

素 CCD RJ2361、A/D 转换器 IR3Y48A1 和专用 DSP LR38603A 等组成。FPGA 采用赛灵思 (XILINX) 公司的 XC3S250E。CCD 采集到的图像数据经过 A/D 转换和 DSP 处理后输出复合视频信号和分辨率为 738×575 的 PAL 制 YUV(4:2:2) 格式的数字视频信号, 其中复合视频信号直接送出到复合视频信号接口, 通过监视器直接显示图像。因为 FPGA 实现自动聚焦功能只需要 YUV 信号里面的亮度信号 Y, 所以把亮度信号 Y 连同行场信号和像素时钟一同输入 FPGA。FPGA 利用亮度信号 Y 进行聚焦效果评价, 将相邻帧的评价结果做对比后判断出聚焦方向, 确定方向后驱动步进电机进行聚焦。FPGA 通过 SPI 通信方式取得 DSP 中特定寄存器记录的当前光圈情况下的亮度分析值, 若该值超出设定的某一范围, 则调整 PWM 脉冲进行光圈控制。

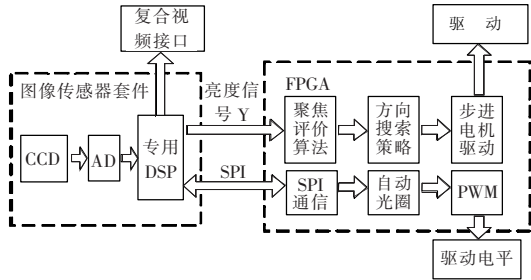


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Function structure of the system

收稿日期: 2008-08-08; 修订日期: 2008-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目资助项目 (No. 60372058); 山西省自然科学基金项目资助项目 (No. 20051019)

* 通讯联系人, E-mail: cyqty@163.com

3 FPGA 逻辑功能的实现

3.1 聚焦评价函数算法及实现

图像是否聚焦与图像的高频成分有关。当完全聚焦时,图像清晰,包含边缘信息的高频分量最多^[2]。通常,判断图像是否聚焦清晰是通过聚焦评价函数来衡量的。对特定的成像系统,图像的清晰度反映了系统的离焦程度。当图像比较清晰,即图像聚焦较好时,图像的细节丰富,在空域表现为相邻像素的特征值(如灰度)变化较大,在频域表现为频谱的高频分量多。利用这一特点可

$$F = \sum_x \sum_y [|f(x,y) - f(x,y-1)| + |f(x,y) - f(x-1,y)|] \tag{1}$$

其中, $f(x,y)$ 表示第 x 行,第 y 列像素的亮度值,像素的相对位置如图 2 所示。但由于该算法计算像素点较少,对于亮度比较均匀的图像,其

$$F = \sum_x \sum_y [|f(x,y) - f(x,y-1)| + |f(x,y) - f(x-1,y)| + |f(x,y) - f(x+1,y-1)| + |f(x,y) - f(x-1,y-1)|] \tag{2}$$

式(2)中选取了中心像素 $f(x,y)$ 到来之前邻近的 4 个像素(左侧、左上侧、上侧及右上侧像素即图 2 中深灰色位置像素)做比较,增大了焦距评价函数的绝对值,提高了聚焦效果评价的准确性。

聚焦评价函数算法实现框图如图 3 所示。由于聚焦评价函数需要用中心像素所在行及上一行临近的 4 个像素,所以需使用 2 个双口 RAM 做相邻两行数据缓冲区,每个双口 RAM 容量为 $1\,024 \times 8$ bit,足够存放一行 738 个数据。读写选择模块将 1 帧图像的第 1 行数据写入 RAM1,将

$f(x-1,y-1)$	$f(x-1,y)$	$f(x-1,y+1)$
$f(x,y-1)$	$f(x,y)$	$f(x,y+1)$
$f(x+1,y-1)$	$f(x+1,y)$	$f(x+1,y+1)$

图 2 像素在图像中的相对位置

以构造各种聚焦评价函数对图像的清晰度进行评价。当前常用的焦距评价函数有以下几种:高频分量法、平滑法、阈值积分法和灰度差分法和拉普拉斯像能函数等^[2]。硬件实现聚焦评价函数受到诸多方面限制,算法效果越好占用资源越多,也越不容易保证实时处理。因此选择算法要综合考虑算法效果和资源占用情况两方面因素。以上几种聚焦评价函数算法中灰度差分法是一个形式简单便于硬件实现也较有效的聚焦评价函数,它是利用图像的相邻像素差(左侧及上侧像素)的绝对值之和作为聚焦评价函数^[3],该算法可用式(1)表示:

对聚焦效果评价准确性不是很理想,因此本文提出一种经过改进的因果灰度差分法来作为焦距评价函数,其算法描述如式(2):

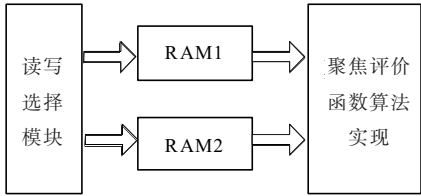


图 3 聚焦评价函数算法实现

Fig. 3 Realization of focusing evaluation function algorithm

第 2 行数据写入 RAM2。在开始写入 RAM2 一个时钟周期后,同时开始读出 RAM1 和 RAM2 中的数据送到聚焦评价函数算法实现模块,以 RAM2 中的图像像素为中心像素计算亮度差值绝对值的和。当第 3 行图像数据到来时再次写入 RAM1,同样在开始写入 RAM1 一个时钟周期后,同时开始读出 RAM1 和 RAM2 中的数据送到聚焦评价函数算法实现模块,然后以 RAM1 中的图像像素为中心像素计算亮度差值绝对值的和。如此循环,得到 1 场的亮度差值绝对值总和,FPGA 中聚焦评价函数算法实现如图 4 所示。将

Fig. 2 Respective positions of pixels in an image

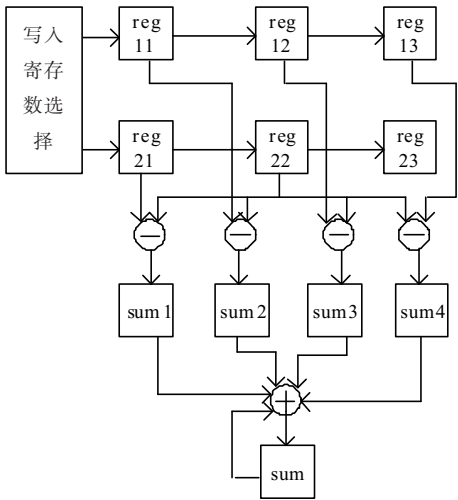


图 4 聚焦评价函数算法实现框图

Fig. 4 Flow chart of focusing evaluation function algorithm

读取的 2 行数据通过写入寄存器选择模块选择中心像素所在行写入第 2 列寄存器,在时钟同步作用下每个时钟周期像素右移一次进入下 1 个寄存器,同时寄存器 reg11,reg12,reg13,reg21 中的数据同 reg22 中的数据做减法取得差值 sum1,sum2,sum3,sum4,并将插值相加得到插值和 sum,当一场完毕以后 sum 里面的数据就是该场的亮度差值和。

因为 DSP 产生的图像信号为隔行扫描格式,所以分别计算出 1 帧中奇偶 2 场的亮度差值绝对值总和,然后将 2 场的亮度绝对值总和取均值作为当前帧的评价函数值,如此处理避免了先进行隔行到逐行的转换再进行评价函数计算的过程,节约了资源空间且提高了计算速度。当前帧计算的结果与前 1 帧的计算值相比较,若当前帧函数值大于前 1 帧函数值,可表明当前图像比前一帧图像清楚则输出结果 OUT 为“1”,反之则输出“0”。

3.2 聚焦方向搜索算法及实现

搜索算法用来确定驱动聚焦电机的转动方向,使其朝向图像清晰的方向转动直到聚焦评价函数值最大位置即图像最清晰位置^[4]。一般聚焦方向搜索算法是让电机从初始位置先正转一步,并根据聚焦评价函数算法模块的输出 OUT 进行判决。若 OUT=‘1’,表示后一帧图像比前一帧清楚,确定正转方向为聚焦方向;若 OUT=‘0’,表示后一帧图像没有前一帧清楚,确定反转方向为聚焦方向。确定出聚焦方向后,驱动步进电机

带动镜头再向聚焦方向走一步,继续比较下一个位置前后两帧图像的清晰度。若 OUT 输出仍为‘1’,则继续移动,直到 OUT 输出为‘0’,令驱动步进电机向相反方向倒退一步,认为此时镜头所处的位置为图像最清楚的地方^[6]。这种搜索算法虽然简单但误判率比较高,因为当两帧图像相差比较小时,OUT 值很有可能会不准确。

本文采用概率统计的方法来确定聚焦方向,以减少误判率。自动聚焦使能信号有效后首先让电机从初始位置触发正转 8 步,然后反转 8 步,然后再反转 8 步,最后再正转 8 步,回到初始位置。每转 1 步检测聚焦评价函数算法模块的输出 OUT 值,将 4 个 8 步内检测到的‘1’的个数分别保存为 SUM1、SUM2、SUM3、SUM4,然后进行统计分析。如果 SUM1≥6 则认为正转方向为聚焦方向,否则若 SUM2≥6 则认为反转方向为聚焦方向。如果 SUM1、SUM2 都不是大于等于 6,则计算 SUM1+SUM4 和 SUM2+SUM3。如果 SUM1+SUM4≥SUM2+SUM3 则认为正转方向为聚焦方向,否则认为反转方向为聚焦方向。确定出聚焦方向后驱动步进电机带动镜头向聚焦方向一步一步转动,每转 1 步检测聚焦评价函数算法模块的输出 OUT 值,若连续转的 2 步输出的 OUT 都为‘0’,则认为确已走过最清晰位置,令驱动步进电机向相反方向倒退 2 步,认为此时镜头所处的位置得到的图像最清楚。

3.3 步进电机驱动实现

步进电机驱动包括变焦电机的驱动和聚焦电机的驱动,变焦电机用来实现变倍,聚焦电机用来聚焦。设计中使用的步进电机为两相双极性步进电机,但变焦电机和聚焦电机的励磁方式不同:变焦电机采用的是二相励磁方式^[5],如表 1 所示;聚焦电机采用的是 1/2 相励磁方式,如表 2 所示。其中 A+,A- 分别代表 A 相绕组正端和负端功率桥控制信号,B+,B- 分别代表 B 相绕组正端和

表 1 二相励磁方式

Table 1 2-phase excitation method

STATE	1	2	3	4
A+	L	H	H	L
A-	H	L	L	H
B+	L	L	H	H
B-	H	H	L	L

表 2 一/二相励磁方式

Table 2 1-2 phase excitation method

STATE	1	2	3	4	5	6	7	8
A+	L	L	H	H	H	L	L	L
A-	H	L	L	L	L	L	H	H
B+	L	L	L	L	H	H	H	L
B-	H	H	H	L	L	L	L	L

负端功率桥控制信号。

通过在步进电机的两组线圈上外加表中所示的电平信号,利用线圈间脉冲的相位差产生的扭矩带动马达旋转实现电机转动。按照表中所示的脉冲顺序从左向右变化实现步进电机的反转,即电机向靠近 CCD 的方向移动;反之实现正转,即电机向远离 CCD 的方向移动。2 个电机的驱动方法基本相同,以变焦电机驱动为例,在 FPGA 内设计一个状态机,实现 4 个状态间的状态转移。每一次变倍使能有效时,根据当前状态转换变倍方向到下 1 个相邻状态,同时输出该状态时对应

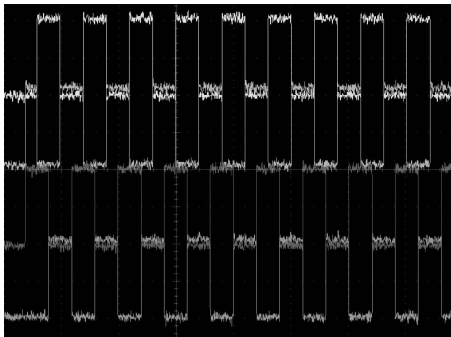


图 5 FPGA 产生的步进电机驱动波形

Fig. 5 Driving waveforms of step motor generated by FPGA

的 4 个控制信号电平值,驱动电机转动,实现变倍功能,产生的驱动波形如图 5 所示。需要注意,由于 FPGA 输出脉冲信号的驱动电平和电流与步进电机的驱动要求不匹配,FPGA 输出的脉冲信号需要先经过由 NPN、PNP 三极管组成推挽电路放大后,再加载到步进电机上。

3.4 自动光圈控制实现

首先在 FPGA 内部实现一个简易 SPI 通信模块,该模块用来和专用 DSP 进行通信,读取 DSP 中特定寄存器记录的当前光圈情况下当前图像的亮度分析值。读取亮度分析值后对该值进行分析,如果该值大于规定的最大值,则发送减小光圈的信号;若该值小于规定的最小值,则发送增大光圈的信号。PWM 脉冲生成模块接收减小或增大光圈的信号,若接收到减小光圈信号则降低产生脉冲的占空比,反之则增大产生脉冲的占空比。FPGA 产生的 PWM 脉冲经过整流电路,MC3403 运算放大器,变成可以驱动镜头中光圈的音圈直流电机的电平实现对光圈的控制。每隔一定时间 FPGA 就从专用 DSP 的寄存器内读取一次亮度分析值,这样不停地判断图像的亮度值,改变光圈的打开度,就实现了自动光圈控制。

4 结 论

本摄像机系统采用 FPGA 进行设计,简化了硬件系统的逻辑控制电路。使用 VHDL 语言实现聚焦评价函数、聚焦搜索算法、电机驱动和 PWM 等功能,缩短了系统开发周期。利用 FPGA 内部大容量的 RAM 做数据缓冲区,保证了系统的实时处理能力。FPGA 还留有许多端口可进行功能扩展,因此,该系统在硬件结构和 FPGA 内部逻辑功能实现方面都具有良好的可升级特性。

参 考 文 献:

[1] 孟宪元,钱伟康. FPGA 嵌入式系统设计 [M]. 北京:电子工业出版社,2007.

[2] 李奇,冯华君. 数字图像清晰度评价函数研究 [J]. 光子学报,2002,31(6):736-738.

[3] 任四刚,李见为,谢利利. 基于灰度差分法的自动调焦技术 [J]. 光电工程,2003,30(2):53-55.

[4] 刘义鹏. 显微镜自动对焦系统设计与应用 [D]. 杭州:浙江大学硕士学位论文,2005.

[5] 刘宝廷,程树康,等. 步进电机及其驱动控制系统 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.

[6] Lee Je-ho,Nam Byung-deok,Lee Jae-chon, et al. Implementation of passive automatic focusing alorithm for digital still camera [J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1995, 41(3):449-454.

[7] 于超,陈光武,石文静. 基于 FPGA 的信号采集及其频谱显示 [J]. 液晶与显示,2008,23(4):499-503.

Design of Multifunctional and Integrative Analog Camera System

ZHANG Xu-dong^{1,2}, WANG Jing-feng¹, CHENG Yong-qiang¹

(1. College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology,

Taiyuan 030024, China, E-mail: jfwang985@126.com;

2. Public Security Department, Shanxi Police Academic College, Taiyuan 030021, China)

Abstract

An innovative multifunctional and integrative analog camera system is designed in this paper, which implements zoom control and aperture control with FPGA. The design utilizes an improved gray scale differential algorithm as focusing evaluation function and utilizes a kind of search strategy to control the remove of step-motor, so the image can be auto-focused.

Key words: FPGA; step-motor; auto-focus; aperture control

作者简介:张旭东(1970—),男,山西太原人,硕士,研究方向为图像处理。

《中国光学与应用光学文摘》重要启示

经国家新闻出版总署批准,《中国光学与应用光学文摘》自 2008 年 7 月起更名为《中国光学与应用光学》。该刊为学术技术类期刊,由中国科学院主管,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,双月刊,A4 开本,国内外公开发行,刊号:ISSN 1674—2915 / CN22—1389/O4。

《中国光学与应用光学》为中国光学学会光电子技术专业委员会会刊,国家自然科学基金核心期刊,吉林省科技类一级刊物;被中国学术期刊(光盘版)、中国科学引文数据库等检索系统收录。

《中国光学与应用光学》以反映国内外光学与应用光学领域的最新动态、高新成果和前沿技术,提供主流技术研究、战略策划、综合评述,跟踪光学领域的最新科技水平和发展动向,为国内外相关学科领域的科研人员提供学术交流和学术积累的平台,促进光学和应用光学学科的发展为办刊宗旨。

《中国光学与应用光学》以光学研究和光学技术为主体,动态设置当期栏目,主要涉及的专题内容有:基础光学、光度学、色度学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、现代光学仪器与光学测试、光学工艺、光学在其他领域的应用等。

《中国光学与应用光学》主要报道光学与应用光学领域学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究成果;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的综合评述,以及国内外光学产业的发展动态及走向等。

《中国光学与应用光学》热忱欢迎广大读者、作者关心和支持本刊的发展,及时订阅、踊跃赐稿;同时欢迎社会各界洽谈广告业务,合作组织技术交流和信息发布活动等。

投稿地址:吉林省长春市东南湖大路 3888 号《中国光学与应用光学》编辑部,邮编:130033

E-mail:opticsdb@ciomp.ac.cn;gxxygx2007@126.com

《中国光学与应用光学》编辑部