

## 一体化摄像机变焦控制系统的设计\*

·实用设计·

张博,张刚,程永强

(太原理工大学 信息工程学院,山西 太原 030024)

**【摘要】** 研究了一体化摄像机光学镜头中变倍电机和聚焦电机的控制原理,实现了步进电机初始位置检测、图像变倍时变倍电机与聚焦电机的配合驱动。为了适应不同物距的变倍跟踪,提出了一种改进的灰度差分自动聚焦算法,计算当前图像的聚焦函数值并采用爬山搜索策略实现了图像的自动聚焦。整个系统采用 VHDL 实现,并在 Xilinx Virtex-5 FPGA 开发板上验证。

**【关键词】** 变焦控制;一体化摄像机;自动聚焦;步进电机;FPGA

**【中图分类号】** TN948.41

**【文献标识码】** A

## Design of Zooming Control System in Integrated Camera

ZHANG Bo, ZHANG Gang, CHENG Yong-qiang

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**【Abstract】** The control principle of zoom motor and focus motor in optical camera lens are studied. The initial position detection of step motor, the collaboration of zoom motor and focus motor when the image is zooming are realized. In order to satisfy zooming of different object distance, an improved gray scale differential auto-focus algorithm is proposed. According to the focus value of the current image and applying to the mountain climbing searching, the auto-focusing of image is realized. The whole design is realized in VHDL and verified on Xilinx Virtex-5 FPGA developing board.

**【Key words】** zooming control; integrated camera; auto-focusing; stepping motor; FPGA

## 1 引言

一体化摄像机内置光学镜头,具有变倍、自动聚焦功能,其结构小巧、使用方便、监控范围广,已广泛应用于教学视频展台、视频监控等领域。变焦控制可实现图像的变倍跟踪、自动聚焦,是一体化摄像机设计中的关键技术之一。步进电机可将电脉冲信号转换成角位移<sup>[1-2]</sup>,每接收一个脉冲信号就可驱动步进电机转动一个固定角度,实现物体的准确定位,通过控制脉冲的频率可控制电机转动的速度,步进电机已广泛应用于高精度控制系统中。一体化摄像机光学镜头中包含变倍步进电机与聚焦步进电机,变倍电机转动时,为使图像聚焦清晰,聚焦电机也应随之转动,具体转动步数与物距有关,具体参数可由镜头生产厂家提供的变焦跟踪曲线获得。为了适应不同物距的清晰成像,变倍跟踪结束后,还应进行自动聚焦,以显示清晰的图像。

图像聚焦程度与其高频分量有关,图像聚焦时,其包含的高频分量最大,图像最清晰,通常采用聚焦评价函数来描述图像的清晰程度。常用的聚焦评价函数主要有高频分量法、平滑法、阈值积分法、灰度差分法、拉普拉斯像能函数等<sup>[3-5]</sup>。为了提高聚焦速度,本文采用改进

的灰度差分法实时计算每场图像的聚焦函数值,判断当前图像清晰与否,采用爬山搜索策略,实现图像的快速自动聚焦。快速自动聚焦的实现与变倍跟踪曲线的精度、自动聚焦算法的优劣、搜索策略、电机驱动速度等因素有关。

由于 FPGA 器件的可并行处理能力及其在系统编程中的灵活性,其应用越来越广泛,同时随着微处理器、专用逻辑器件以及 DSP 算法以 IP Core 的形式嵌入到 FPGA 中<sup>[6]</sup>,FPGA 实现的功能越来越强。笔者设计的变焦控制系统采用 VHDL 语言描述,在 Xilinx Virtex-5 FPGA 开发板上验证。

## 2 步进电机工作原理

本文选用的光学镜头具有变倍和聚焦两个步进电机,光学变倍 22 倍,步距角 18°,每步位移量 0.02 mm,脉冲输入速度(即转速)为 600~800 pulse/s(脉冲/秒),采用 2-2 相驱动励磁方式,驱动脉冲变化如表 1 所示。

表 1 步进电机驱动脉冲

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

\* 国家自然科学基金资助项目(60772101)

若驱动脉冲按 1→2→3→4 的方向循环发出,则步进电机带动的镜片朝靠近图像传感器方向移动,反之则远离图像传感器方向移动,从而可通过产生不同的驱动脉冲控制电机的转动步数及转动方向。

由于每次系统掉电时,步进电机的停止位置不固定,所以每次系统工作时,首先要进行步进电机位置的判断并驱动步进电机转到某一固定位置,如一倍放大位置。步进电机中用电机位置检测器来判断电机的位置,位置检测器电路如图 1 所示。其工作原理为:当电机驱动的检测器运动到发光二极管与光敏三极管之间时,阻挡二极管发出的光线,则三极管处于截止状态,输出信号为高电平;当检测器离开中间位置时,发光二极管使三极管导通,则输出信号为低电平。由于二极管和三极管位置固定,所以输出信号电平跳变位置是固定的。

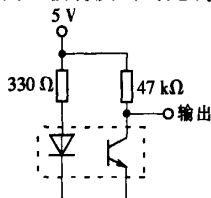


图 1 电机位置检测电路

变倍电机向靠近传感器方向转动时,图像放大,同时聚焦电机也应转动一定步数以得到清晰图像,变倍电机与聚焦电机对应的步数坐标称为变倍跟踪曲线,不同物距对应不同的变倍跟踪曲线。由于机械误差,同一型号的电机的变倍跟踪曲线稍有差异,为了适应不同电机需求,变倍放大后,聚焦电机根据变倍跟踪曲线对应转动一定步数后,再进行一次自动聚焦,便可得到清晰图像,同时也可适应不同物距需求。

### 3 系统设计

#### 3.1 系统结构及工作原理

系统结构如图 2 所示,图像传感器将采集到的视频图像输入到 FPGA,FPGA 输出变倍电机和聚焦电机驱动信号,并经 H 桥放大后输出到光学镜头,同时,光学镜头将变倍电机和聚焦电机的位置检测信号反馈输出到 FPGA 中,用以检测当前电机位置。

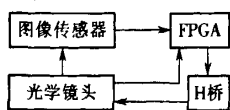


图 2 系统结构图

系统上电后,FPGA 判断光学镜头返回的变倍电机位置检测信号和聚焦电机返回的检测信号,若检测信号为低电平则驱动电机向靠近图像传感器方向转动,直至检测信号为高电平,在电平跳变处停止。同理,若检测信号为高电平,则驱动电机向远离传感器方向转动,直至检测信号为低电平在电平跳变处停止,以上则完成对电机的初始化。初始化结束后,驱动电机转动到一个固定放大倍数位置。电机变倍时,变倍电机转动一定步数,同

时驱动聚焦电机转动对应步数,具体步数可根据变倍跟踪曲线获得。变倍结束后,FPGA 计算当前场图像的高频分量,判断当前图像的清晰度,并采用爬山搜索策略驱动聚焦电机,以实现图像的自动聚焦,从而可保证每次变倍结束后得到清晰的图像。

#### 3.2 FPGA 内部功能实现

根据现代 EDA 设计采用的“自顶向下”的设计方法,系统功能分为以下功能模块:电机初始化,变倍跟踪,搜索,自动聚焦算法,系统控制,电机驱动等。FPGA 内部功能模块如图 3 所示。下面将详细介绍各模块的实现方法。

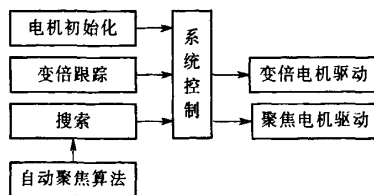


图 3 FPGA 内部功能模块

##### 3.2.1 电机初始化

该模块功能是实现电机初始位置的判断,并驱动电机转动到某一固定位置。系统上电后,根据电机位置检测器返回的状态信号判断当前电机的运动位置,若返回低电平,则驱动电机向图像传感器方向移动,直至检测信号为高电平,在检测信号跳变时,停止电机转动。若检测信号为高电平,则驱动电机向远离传感器方向移动,直至检测信号为低电平,在检测信号跳变时,停止电机转动。由于检测信号跳变位置是固定的,所以系统上电后可驱动电机转动到预设置的固定位置。

##### 3.2.2 变倍跟踪

该模块实现变倍电机的驱动,并根据变倍跟踪曲线确定聚焦电机对应的转动步数。根据变倍跟踪曲线,将变倍电机转动范围平均分成 40 段,由计数器 1~40 表示当前电机位置,当变倍电机由  $i$  转动到  $(i+1)$  时,则变倍电机朝传感器方向转动  $z_{i+1}-z_i$  步长,若  $f_{i+1} \geq f_i$ ,则聚焦电机朝传感器方向转动  $f_{i+1}-f_i$  步长,若  $f_{i+1} < f_i$ ,则聚焦电机向远离传感器方向转动  $f_i-f_{i+1}$  步长,其中,  $z_i, f_i$  分别表示  $i$  点对应的变倍电机和聚焦电机在变倍跟踪曲线上的坐标;当变倍电机由  $i$  转动到  $i-1$  时,则变倍电机朝远离传感器方向转动  $z_i-z_{i-1}$  步长,若  $f_{i-1} < f_i$ ,则聚焦电机朝远离传感器方向转动  $f_i-f_{i-1}$  步长,若  $f_{i-1} \geq f_i$ ,则聚焦电机朝传感器方向转动  $f_{i-1}-f_i$  步长。

##### 3.2.3 自动聚焦算法实现

本文采用一种改进的灰度差分法计算图像的聚焦评

价函数,公式为

$$F = \sum_x \sum_y (|f(x,y) - f(x,y-1)| + |f(x,y) - f(x-1,y)| + |f(x,y) - f(x+1,y-1)| + |f(x,y) - f(x-1,y-1)|)$$

式中: $f(x,y)$ 表示第 $x$ 行、第 $y$ 列像素的亮度值。像素间位置关系如图4所示。

$f(x-1,y-1)$	$f(x-1,y)$	$f(x-1,y+1)$	$f(x-1,y+2)$
$f(x,y-1)$	$f(x,y)$	$f(x,y+1)$	$f(x,y+2)$
$f(x+1,y-1)$	$f(x+1,y)$	$f(x+1,y+1)$	$f(x+1,y+2)$
$f(x+2,y-1)$	$f(x+2,y)$	$f(x+2,y+1)$	$f(x+2,y+2)$

图4 像素对应位置

该算法实现时,利用FPGA内的BlockRAM作为行

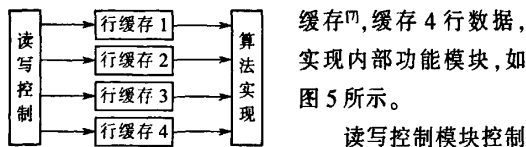


图5 自动聚焦算法实现内部模块 4 个行缓存中数据的读写,每场图像第1行数据写入到行缓存1,第2行数据写入到行缓存2,第3行数据写入到行缓存3,第4行数据写入到行缓存4,同时,将行缓存1,2,3中数据读出到算法实现模块,第5行数据写入到行缓存1,同时,将行缓存2,3,4中数据读出到算法实现模块,按此读写规律进行直至一场图像结束。算法实现模块接收从行缓存中读出的数据,并将每个行缓存读出的数据赋值给内部相连的3个寄存器,则第2行中间寄存器对应算法中的 $f(x,y)$ 像素,根据聚焦评价函数值公式即可求出当前场的聚焦函数值,并将当前场图像的聚焦函数值与前一场图像的聚焦函数值相比较,如当前场图像的聚焦函数值大于前一场图像聚焦函数值,则输出比较信号为高电平,表示当前场比前一场图像清晰,反之输出低电平,表示当前场图像比前一场图像模糊。

### 3.2.4 搜索实现

该模块根据自动聚焦算法模块输出的相邻两场图像聚焦函数值的比较结果,来控制聚焦电机的转动方向,当输出图像的聚焦函数值最大时停止转动,实现图像的自动聚焦。

该模块具体实现过程为:变倍结束后,在图像场同步信号的消隐期间,使聚焦电机朝预定义的固定方向转动一步,在下一场图像场同步的下降沿采集自动聚焦算法模块输出的聚焦函数值比较结果信号,若该信号为高电平,则表示当前图像比前一场图像清晰,电机转动方向正确,继续向该方向转动一步。同理,在下一场图像的场同步下降沿采集聚焦函数值比较结果信号,若为高电

平,则继续向该方向转动,若为低电平,则向相反方向转动一步后停止电机转动,自动聚焦结束。若第一次采集的聚焦函数值比较结果信号为低电平,则表明首次设定的转动方向错误,则向相反方向转动两步后,在下一场图像的场同步下降沿判断聚焦函数值比较结果信号,若为高电平,则继续沿该方向转动,若为低电平,则向相反方向转动一步后停止电机转动,则自动聚焦结束。

### 3.2.5 系统控制模块

该模块主要对初始化模块、变倍跟踪模块、搜索模块输出的变倍电机和聚焦电机的驱动信号(包括转动方向、步数)进行选择输出。系统上电后,首先是初始化模块产生的驱动信号有效,初始化结束后,其他模块才可正常工作。图像变倍时,变倍跟踪模块输出的电机驱动信号有效。变倍结束后,搜索模块产生的电机驱动信号有效。

### 3.2.6 电机驱动模块

该模块根据系统控制模块输出的电机驱动信号(转向,步长)来产生对应的A+,A-,B+,B-电机驱动脉冲。该模块内部为模值为4的计数器,输入转向控制信号为高电平时,该计数器加法计数,转向为低电平时,计数器减法计数,根据输入的步长控制输出驱动脉冲的持续时间长度,计数器值对应不同的驱动脉冲信号,则可产生不同方向、不同步长的电机驱动脉冲。

## 4 小结

由于FPGA的并行处理特性,笔者设计的变焦控制系统可同时控制变倍电机和聚焦电机,提高了变倍跟踪速度。提出并实现一种改进灰度差分算法,对每场图像计算高频分量,可适应不同环境,能较好的反映图像的离焦极性,提高自动聚焦的准确性。本文使用的图像传感器套片采用Sony公司的ICX229AK CCD传感器和CXD4103R图像处理芯片,该套片可同时输出复合视频信号与数字YUV视频信号。该设计在Xilinx Virtex-5开发板上实现。本文设计的变焦控制系统可应用于一体化摄像机的研发,具有很高的商业价值。

### 参考文献:

- [1] 刘星辰,刘东斌,杜鹏.步进电机控制系统的设计与实现[J].微计算机信息,2009,25(8):25-27.
- [2] 潘涛,程耕国.步进电机控制器的FPGA实现[J].现代电子技术,2009,(1):148-150.
- [3] 白立芬,徐毓桐,于水,等.基于图像处理的显微镜自动调焦方法研究[J].仪器仪表学报,1999,12(6):612-614.
- [4] SUBBARAO M,NIKZAD A. Focusing techniques[J].Optical Engineering,(下转第63页)

求, GPS 时间与其秒脉冲上升的时刻相差在 50 ns 以内, 因此在广播电视授时领域, 只要对比北斗与 GPS 秒脉冲的同步性, 即可判断北斗授时是否适用于广播电视系统。本文设计了北斗授时和 GPS 授时的对比实验证明北斗与 GPS 授时脉冲的同步性(上升沿同步精度和上升沿斜率)。

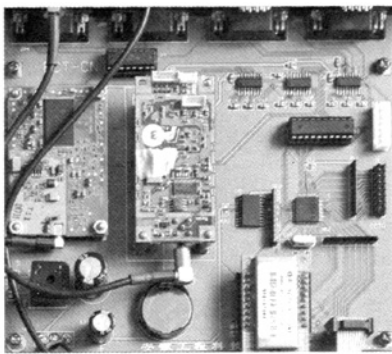


图6 北斗与 GPS 互备的授时单元

为了测试两种授时脉冲的同步精度, 将两套互备授时单元分别接收到的北斗授时秒脉冲和 GPS 授时秒脉冲同时接入一台示波器, 观察两个脉冲的上升沿时间差, 北斗与 GPS 的秒脉冲时间误差主要分布在 1  $\mu$ s 以内。采用相同的方法测试两种秒脉冲上升沿的斜率, 上升沿斜率基本相同, 均能在 100 ns 内完成跳变。因此北斗时间满足电视信号以帧(40 ms)或场(20 ms)为播出单位的播出精度。

除同步对比实验外, 还进行了北斗和 GPS 互备授时实验。将授时单元的北斗授时时间设置为输出时间, 此时长时间遮蔽或拔出北斗授时天线, 装置能迅速判别北斗

时间为不正常时钟源, 自动选择 GPS 授时修正本地时钟, 输出精确的时间, 反正亦然。

将北斗卫星导航系统与 GPS 互备的授时单元应用于广播电视系统授时技术中, 以北斗授时优先获取标准时间与系统本地时间进行校准, 同时以 GPS 为辅助授时源。两种方式互为备份, 弥补长久以来使用 GPS 作为唯一授时源存在的手段单一和没有自主控制权的问题, 提高了系统的安全性和可靠性, 此项研究对改变国外卫星授时系统对我国市场的垄断, 保证我国的信息安全, 具有重要的意义。同时依据本文设计的作品入选第十一届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛。

#### 参考文献:

- [1] 王元虎, 周东明. 卫星时钟在电网中应用的若干技术问题[J]. 中国电力, 1998, 31(2): 10-13.
- [2] 李建, 谢小荣, 韩英铎, 等. 北斗卫星导航系统与 GPS 互备授时的分布式相量测量单元[J]. 电网技术, 2005, 29(9): 1-5.
- [3] 马瑞峰. 基于北斗导航定位系统的伪卫星技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [4] BAUCH A, PIESTER D, MOUDRAK A, et al. Time comparisons between USNO and PTB: a model for the determination of the time off set between GPS time and the future Galileo system time[C]//Proc. the 2004 IEEE International Frequency Control Symposium and Exposition, Montreal, Canada, 2004: 334-340.
- [5] 王冠凌. 基于 ZigBee 和 GPS 广播电视时钟授时系统的研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2008(5): 15-18.

#### 作者简介:

陈孟元(1984-), 硕士生, 从事自动检测与控制系统的研究。

责任编辑: 任健男

收稿日期: 2010-03-20

(上接第 40 页)

1993, 32(11): 2824-2836.

- [5] 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.
- [6] 徐欣, 于红旗, 易凡, 等. 基于 FPGA 的嵌入式系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] 王宇新, 贺圆圆, 郭禾, 等. 基于 FPGA 的快速中值滤波算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(1): 224-226.

(上接第 46 页)

#### 参考文献:

- [1] ETSI TS 103 197, Digital video broadcasting (DVB); head-end implementation of DVB simulcrypt[S]. 2000.
- [2] ETSI TS 101 197, Digital video broadcasting (DVB); DVB simulcrypt; head-end architecture and synchronization[S]. 1997.
- [3] ETSI EN 300 468, Digital video broadcasting (DVB); DVB specification

#### 作者简介:

张博(1982-), 博士生, 助教, 研究方向为多核处理器通信、集成电路设计;

张刚(1953-), 教授, 博士生导师, 主要研究领域为语音编码与嵌入式系统;

程永强(1969-), 博士, 副教授, 研究方向为图像处理。

责任编辑: 任健男

收稿日期: 2010-03-25

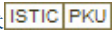
for service information (SI) in DVB systems [S]. 1995.

- [4] VISA and MasterCard. Secure electronic transaction (SET) supplement for the v1.0 internet open trading protocol [EB/OL]. [2009-04-15]. <http://www.facs.org/rfcs/rfc3538.html>.

责任编辑: 许盈

收稿日期: 2010-04-20

# 一体化摄像机变焦控制系统的设计

作者: [张博](#), [张刚](#), [程永强](#), [ZHANG Bo](#), [ZHANG Gang](#), [CHENG Yong-qiang](#)  
作者单位: [太原理工大学信息工程学院, 山西, 太原, 030024](#)  
刊名: [电视技术](#)   
英文刊名: [VIDEO ENGINEERING](#)  
年, 卷(期): 2010, 34(6)  
被引用次数: 0次

## 参考文献(7条)

1. [刘星辰](#), [刘东斌](#), [杜鹏](#) [步进电机控制系统的设计与实现](#) 2009(8)
2. [潘涛](#), [程耕国](#) [步进电机控制器的FPGA实现](#) 2009(1)
3. [白立芬](#), [徐毓娴](#), [于水](#), [李庆祥](#) [基于图像处理的显微镜自动调焦方法研究](#) 1999(6)
4. SUBBARAOM, NIKZAD A [Focusing techniques](#) 1993(11)
5. [任四刚](#), [李见为](#), [谢利利](#) [基于灰度差分法的自动调焦技术](#) 2003(2)
6. [徐欣](#), [于红旗](#), [易凡](#) [基于FPGA的嵌入式系统设计](#) 2005
7. [王宇新](#), [贺圆圆](#), [郭禾](#), [龙珠](#) [基于FPGA的快速中值滤波算法](#) 2009(1)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dsjs201006011.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dsjs201006011.aspx)

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: b85a65ad-03e4-42ea-b066-9df20115f1c6

下载时间: 2010年9月15日