

基于 FPGA 的智能台灯机器人系统

高云, 田世鹏, 黎焯, 郭艳亮, 张金成, 许甲海, 刘方亮, 张辉
(华中农业大学 工学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 针对传统台灯存在的功能单一、机械开关寿命短和人性化程度偏低等诸多不利因素, 设计了基于摄像头识别处理技术和 FPGA 技术的智能家居台灯系统。该系统通过热释电红外传感器进行人体红外感应; 以舵机控制的机械臂模块为执行终端, 控制台灯的高度及光照方向; 采用摄像头采集图像对手皮肤图像进行识别, 实现人手所在位置的跟踪识别; 采用具有 Nios II 嵌入式软核处理器的 SoPC 控制系统实现对整个系统的控制管理。实验表明, 该系统能够有效地实现台灯根据人的到来自动开启; 使用时, 台灯的光照方向能根据人手所在位置进行自动跟踪调节; 具有动作灵活、可扩展性强和识别精确等优点。

关键词: 摄像头; FPGA; 热释电红外传感器; 智能台灯

中图分类号: TP249

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)04-0038-03

Intelligent household desk lamp system based on FPGA

Gao Yun, Tian Shipeng, Li Xuan, Guo Yanliang, Zhang Jincheng, Xu Jiahai, Liu Fangliang, Zhang Hui
(School of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: According to the traditional desk lamp, such as function, mechanical short life switch, human nature level is low and so on, the paper designs an intelligent household desk lamp system based on the camera recognition processing technology and FPGA technology. The system carries on the human body infrared induction through the pyroelectric infrared sensor. With steering gear control mechanical arm module for the terminal, camera recognition processing as the core to establish human skin image recognition of intelligent desk lamp control system. Using the SoPC control system with Nios II embedded soft core processor to realize the whole system management. Experiment shows that the system can effectively achieve the more intelligent function, and has the flexible motion, extensibility and accurate recognition etc.

Key words: camera; FPGA; pyroelectric infrared sensor; intelligent desk lamp

智能机器人是一类能够通过传感器感知环境和自身状态, 实现在特定环境中自主运动, 从而完成一定作业功能的机器人系统。目前对智能机器人的研究涉及机器人的机械结构、体系结构、环境建模、导航定位、路径规划、运动控制、多传感器信息融合、故障诊断、容错控制以及移动机器人导航控制平台等。

现场可编程门阵列 (FPGA) 是在 PAL、GAL 和 CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。FPGA 可内嵌 CPU 或 DSP 内核, 支持软硬件协同设计, 例如, 蒋星红等采用 DSPC000 对智能机器人视觉传感器采集到的图像进行高速信号处理^[1], 并利用 FPGA 资源作为协处理器进行图像滤波处理; 高彩等选用 TMS320DM642 作为核心处理芯片, 利用 FPGA 芯片进行底层图像处理^[2]。同

时, FPGA 可以作为片上可编程系统 (SoPC) 的硬件平台, 非常适用于诸如数字图像处理类的数学密集型应用^[3]。目前用 FPGA 技术来处理图像的研究正处于热门阶段, 例如刘智等基于 FPGA 实现图像锐化^[4], 龚涛等基于 FPGA 的图像采集处理系统实现了布匹图像的采集和预处理, 检测纺织行业中布匹的疵点^[5]。

本项目在传统家居台灯系统的基础上对其进行改进, 研究了一种节能、智能化、人性化的现代家居智能台灯机器人, 用于书桌照明的需求^[6-9]。系统以嵌入 Nios II 软核处理器的 FPGA 系统为主控单元, 以 OV7670 摄像头为图像采集模块, 5 个舵机控制的五自由度机械臂为执行单元, 实现台灯的多自由度转动、照射目标智能跟踪等功能。

图形、图像与多媒体

1 系统总体结构

系统总体上可分为多舵机 PWM 驱动模块、摄像头模块和 FPGA 控制系统 3 大部分,如图 1 所示。多舵机 PWM 驱动模块由底层舵机、支架舵机、上层舵机以及 PWM 驱动电路组成,实现台灯照射方向的自动精确定位功能。FPGA 控制系统采用基于友晶公司的 DE2 开发板,核心芯片采用 Altera 公司的 Cyclone II 系列,在 DE2 开发板上配备 3.5 英寸触摸屏。基于 OV7670 摄像头^[10-11]模块配合 FPGA 控制系统完成图像的实时采集、帧缓存、预处理和数据处理等功能,并通过对 FPGA 系统的优化提高图像采集和处理系统的整体性能。

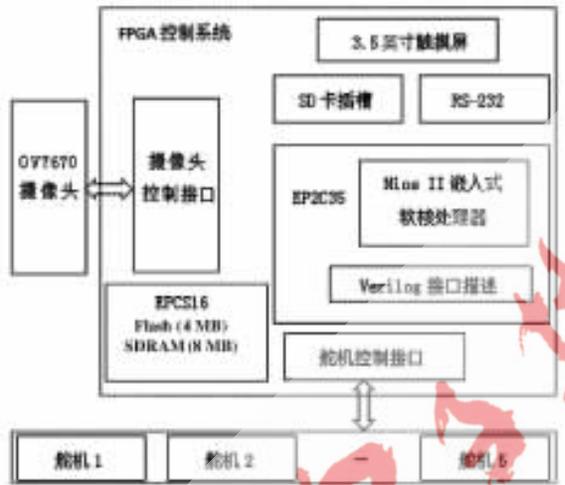


图 1 系统总体结构图

FPGA 主控系统上电后,热释电红外传感器进行工作,感知人体红外发射。当探测到人体靠近台灯后实现台灯的自动开启。OV7670 摄像头进行图像采集,FPGA 控制系统进行图像处理^[12]。最后,通过实际坐标数据,计算机械臂中每个舵机的旋转方向和旋转角度,并驱动舵机执行单元,完成机械臂的空间转动与定位,每个机械臂的定位角度分辨率为 0.1°。

2 摄像头图像识别处理单元的设计

2.1 摄像头模块的设计

在本系统中,摄像头安装于距离桌面 0.7 m 的位置,可以采集直径为 0.66 m,面积为 0.33 m² 的图像信息,如图 2 所示。

2.2 摄像头图像识别处理单元的软件流程

2.2.1 图像的预处理

摄像头图像识别处理内部实现模块结构图如图 3 所示。

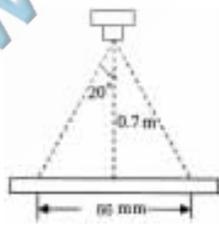


图 2 摄像头位置示意图

为了减少图像处理的计算量,这里摄像头采集的图像设定为 320×240。摄像头存储在 FIFO 存储芯片中的图像数据位为 YUV4:2:2 格式,由于在本系统中只使用色度值,故从 YUV 格式的数据中只提取 UV 值存储到 SDRAM 中。

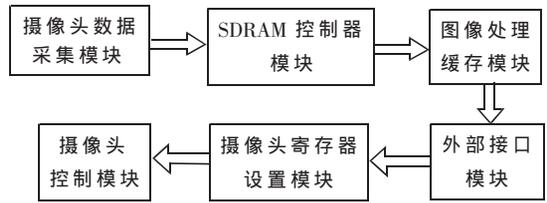


图 3 内部实现模块结构图

FPGA 从 SDRAM 中读取图像的色彩值,通过中值滤波以降低图像噪声。学习了基于 DSP 和 FPGA 的全景图像处理系统设计与实现^[13],算法计算公式如式(1)所示。为了求 (i,j) 处像素值,查看该像素周围的 $N \times N$ 个像素值,将其排序后取其中值,该中值即为 (i,j) 像素的值。

$$P_{i,j} = \text{Med}[p_{i-N,j-N}, p_{i-N,j-N+1}, \dots, p_{i+N,j+N}] \quad (1)$$

$$(N \leq i < 240 - N, N \leq j < 320 - N)$$

其中, i,j 为图片中像素点的坐标, N 为所取范围的维度。

滤波之后再对其进行二值化处理,如式(2)所示。

$$P_{i,j} = \begin{cases} 1, & (p_{i,j} \in T) \\ 0, & (p_{i,j} \notin T) \end{cases} \quad (2)$$

$$(N \leq i < 240 - N, N \leq j < 320 - N)$$

其中, T 为肤色的取值集合。

再通过腐蚀膨胀算法进一步消除噪声,腐蚀算法为:

$$P_{i,j} = \begin{cases} 0, & (\sum_{e=i-K}^{i+K} \sum_{f=j-K}^{j+K} p_{e,f}) \neq K^2 \\ 1, & (\sum_{e=i-K}^{i+K} \sum_{f=j-K}^{j+K} p_{e,f}) = K^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$(K+N \leq i < 240 - N - K, K+N \leq j < 320 - N - K)$$

其中, K 为集合维度。

膨胀算法为:

$$P_{i,j} = \begin{cases} 1, & (\sum_{e=i-K}^{i+K} \sum_{f=j-K}^{j+K} p_{e,f}) \neq 0 \\ 0, & (\sum_{e=i-K}^{i+K} \sum_{f=j-K}^{j+K} p_{e,f}) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$(K+N \leq i < 240 - N - K, K+N \leq j < 320 - N - K)$$

其中, K 为集合维度。

2.2.2 计算目标坐标

经过以上预处理后,采用加权平均法求得目标在图像中的坐标,具体算法为:

$$\begin{cases} X = \left(\sum_{i=N}^{240-N-1} \sum_{j=N}^{320-N-1} i \times P_{i,j} \right) / \sum_{i=N}^{240-N-1} \sum_{j=N}^{320-N-1} P_{i,j} \\ Y = \left(\sum_{j=N}^{320-N-1} \sum_{i=N}^{240-N-1} j \times P_{i,j} \right) / \sum_{i=N}^{240-N-1} \sum_{j=N}^{320-N-1} P_{i,j} \end{cases} \quad (5)$$

其中, (X,Y) 为目标在图片中的坐标。

再将该坐标转换成机械臂上两个常动舵机的转动角度,其中, (X,Y) 与舵机转动角度 (α, β) 的关系线性关系为:

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h \\ l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (6)$$

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

其中, h, l 为线性系数。

实验表明, 通过以上处理后, 人手部在桌面的位置可很好地提取出来, 最后通过计算手部重心位置得出机械臂应将灯光投向桌面的方位。

2.3 基于 Nios II 的 SoPC 系统的软件设计

FPGA 主控系统主要用于判别摄像头采集图像是否为人皮肤和多级的分别控制等。在其上电后, 热释电红外传感器工作, 其感知红外线的距离与角度可调, 根据判别结果, 摄像头进行图像处理, 主要进行皮肤识别算法处理, 对图像中心进行计算, 进而控制舵机进行精确定位。系统软件流程图如图 4 所示。通过 3.5 英寸的触摸屏可以查看人体皮肤经过处理之后的效果。

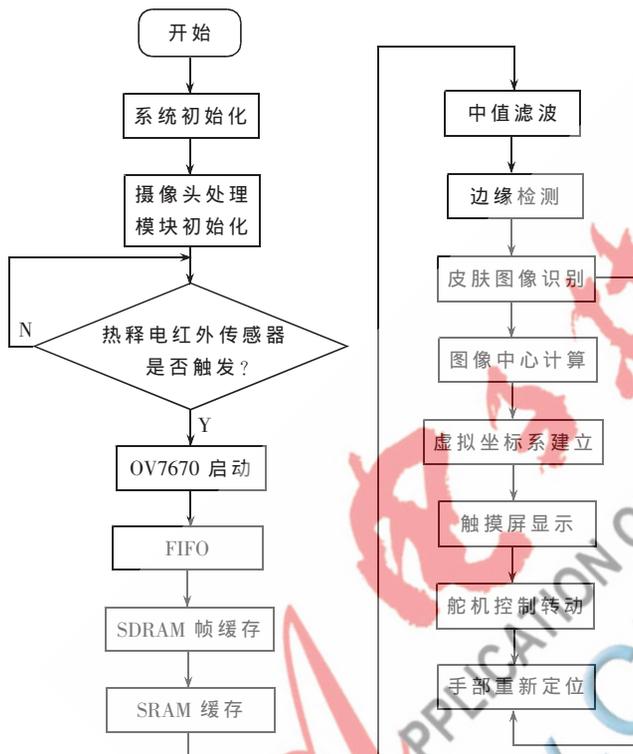


图 4 FPGA 主控系统软件流程图

3 机械臂执行动作单元设计

全方位转动机械臂相比于固定机械臂具有更大的操作空间和更高的操作灵活性, 因而优化的控制系统是保证机械臂高效工作的基础^[14]。本系统采用舵机控制的动力模块。舵机的控制信号是 PWM 信号, 利用占空比的变化改变舵机的位置。一般舵机的控制要求如图 5 所示。

4 系统试验验证及结果分析

4.1 模拟舵机实验结果

模拟舵机需要一个外部控制器 (遥控器的接收机) 产生脉宽调制信号来告诉舵机转动角度, 脉冲宽度是舵机控制器所需的编码信息。舵机的控制脉冲周期为 20 ms, 脉宽为 0.5 ms~2.5 ms, 分别对应 -90° ~ $+90^{\circ}$ 的位置, 如图 6 所示。

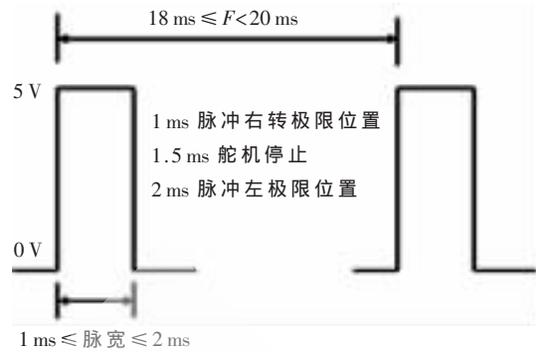


图 5 舵机的控制要求图



图 6 舵机的脉冲宽度调节结果

4.2 智能家居台灯系统整天运行结果

通过调节底部舵机带动轴动控制底座实现 180° 自由旋转。底部舵机通过轴与上层舵机连接, 上层舵机由底层舵机控制。由此, 上层舵机与底层舵机控制的机械臂能够实现三维空间内的任意角度的转动。

顶层舵机控制上层机械臂, 上层机械臂和底层机械臂实现机械臂的延伸扩展功能, 达到设计机器跟踪读者视线范围的根本目的。系统整体结果示意图如图 7 所示。



图 7 FPGA 智能家居台灯系统

针对传统台灯的不利因素以及对未来美好家居生活的向往, 本文设计了基于 FPGA 的智能家居台灯系统。系统具有部署灵活方便、稳定可靠、成本低、组装维护简单和扩展方便的特点, 可以针对具体的应用环境进行相应的参数设置, 有效提高了该款智能家居台灯系统的广泛适应性。

参考文献

- [1] 蒋星红. 基于 DSP 的智能机器人视觉伺服系统研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.

- [2] 高彩,罗庆生,韩宝玲,等.适用于新型智能机器人的高性能低功耗视觉系统[J].机械设计与制造,2008(12):91-93.
- [3] 林飞宇,王彦瑜,龙银东,等.基于 Nios-II 用于加速器监控系统的通用型可重配置嵌入式微控制器[J].强激光与粒子束,2009,21(6):911-914.
- [4] 刘智,夏春蕾,戴曙光.基于 FPGA 的图像锐化实现[J].微型机与应用,2012,31(3):40-41.
- [5] 龚涛.基于 FPGA 的图像采集处理系统[D].武汉:华中科技大学,2005.
- [6] ASTARLOA A, LÁZARO J, BIDARTE U, et al. FPGA technology for multi-axis control systems[J]. Mechatronics, 2009,19(2):258-268.
- [7] 刘九维,陈锋,刑岚.数字式 CMOS 摄像头在智能车中的应用[J].单片机与嵌入式系统应用,2010(7):42-44.
- [8] 杨波,陈忧先.热释电红外传感器的原理和应用[J].仪表技术,2008(6):66-68.
- [9] 彭浩,袁涛.论台灯设计中的情感化设计[J].重庆科技学院学报(社会科学版),2008(9):161-162.
- [10] 朱翔,潘峥嵘.基于 OV7620 的机器人视觉导航系统设计[J].电子测量技术,2010,33(1):64-66.
- [11] 李春明,姜威,高超,等.CMOS 图像传感器芯片 OV9620/OV9120 及其应用[J].电视技术,2003(12):66-67.
- [12] 贺钦,刘文予.数字图像传感器颜色插值算法研究[J].小型微型计算机系统,2007,28(8):1482-1485.
- [13] 陆军,高乐,刘涛.基于 DSP 和 FPGA 的全景图像处理系统设计与实现[J].电子技术应用,2012,38(6):24-26.
- [14] 李世其,刘洋,朱文革,等.多关节轻型机械臂的设计研究[J].航天器工程,2009,18(3):48-52.

(收稿日期:2013-06-20)

作者简介:

高云,女,1974年生,硕士,主要研究方向:无线传感器网络,信号处理。

田世鹏,男,1992年生,本科,主要研究方向:自动控制,数字信号处理。

黎焯,男,1980年生,博士,主要研究方向:农业智能检测与控制。