

文章编号:1674-2869(2015)04-0065-04

# 嵌入式视觉的测距系统设计

刘昌辉, 帅 考, 杨维荣

武汉工程大学计算机科学与工程学院, 湖北 武汉 430205

**摘 要:** 行车操作人员在实际操作过程中, 会出现对与之相邻障碍物之间的距离太近而不能及时规避情况, 导致碰撞事故的发生. 针对这一问题, 笔者构建了以 ARM11 微处理器为核心, 以 USB 摄像头为图像采集设备的测距系统, 在基于机器视觉和图像处理的基础上, 将单目视觉和激光技术相结合, 考虑对应点匹配和单个特征点提取误差对测量结果影响, 将激光点作为特征点的单目视觉测距的方法. 实验结果表明, 该系统能有效的测量与障碍物的距离, 测量准确, 可靠性高且满足实时性要求.

**关键词:** 嵌入式; 机器视觉; 图像处理; 单目测距

**中图分类号:** TP31      **文献标识码:** A      **doi:** 10. 3969/j. issn. 1674-2869. 2015. 04. 014

## 0 引 言

随着工业生产蓬勃发展, 行车作为起吊搬运的重要设备, 被广泛应用于各种工业现场, 由于繁重的操作任务, 操作人员往往注重于重物的运行, 而对与之相邻障碍物的安全距离不能及时预判, 导致相撞的事故时有发生. 为了避免事故的发生, 使行车能够平稳、安全、有效的运行, 行车的防撞技术成为目前国内外的一个重要研究方向.

防撞系统中最基本和最关键的技术是距离检测, 目前运用在障碍物检测上的测距方式主要有红外线测距、激光测距、超声波测距、毫米波雷达测距以及视觉测距等多种方法, 如姜海娇建立的激光雷达测距系统根据测距特性对测量精度进行研究<sup>[1]</sup>, 沈燕等人介绍的基于单片机的超声波测距设计实现测距功能<sup>[2]</sup>, 刘鑫等人采用雷达测距实现倒车防撞控制等<sup>[3]</sup>, 都在一定程度上满足了防撞要求. 然而这几种测距方式都有其局限性, 红外线测距响应时间长, 使操作人员得到的提前预警不足以躲避碰撞; 激光测距成本较高, 且对传感器表面光洁度要求也较高; 超声波测距易受到空气密度、温度等影响, 产生较大误差; 雷达测距易受到电磁波干扰等, 限制了其在防撞系统中的应用.

伴随着图像处理技术和嵌入式的不断发展, 视觉测距为安全车距检测提供了一种更有效的解决方案. 本文在 ARM11 开发平台基础上实现了单目视觉测距功能, 通过以目标物体上激光点为特征

点, 对激光点进行识别定位, 以达到对目标物体进行测距定位的目的. 经实验证明, 该系统测距精度较高, 实时性好.

## 1 硬件结构设计

嵌入式视觉测距系统主要由嵌入式开发板、Linux 操作系统、图像处理模块及单目视觉测距算法组成. 本视觉测距系统中, 采用一个 USB 接口的 CMOS 摄像头作为图像采集设备, 考虑到 ARM11 具有的高性能、低功耗和低价格等特点, 本系统选用 ARM11 的 S3C6410 处理器为控制核心, 为软件系统的运行提供硬件支持. 其具体硬件构成如下:

(1) S3C6410 是一个 16/32 位的 RISC 微处理器, 拥有强大的内部资源和视频处理能力, 主频为 533 MHz, 最高可达 667 MHz.

(2) 支持 Mobile DDR 和多种 NAND FLASH. 包括 128M 字节的 Mobile DDR, 以及 1G 字节的型号为 K9G8G08U0A 的 NAND FLASH, 用于存储内核代码、应用程序、操作系统和数据资料等.

(3) 4 个串口, 包括了三个三线 TTL 电平串口和一个五线的 RS 232 电平串口.

(4) 1 个 USB HOST 插口, 支持 USB1.1 协议, 可插鼠标、U 盘等.

系统结构框如图 1 所示.

系统通过 USB 摄像头采集图像, 然后将图像信息传送到 S3C6410 嵌入式处理器中进行图像处理, 并将图像在 LCD 显示器上实时显示.

收稿日期: 2015-04-07

作者简介: 刘昌辉(1965-), 男, 湖北襄阳人, 副教授, 博士. 研究方向: 人工智能系统, 计算机控制系统.

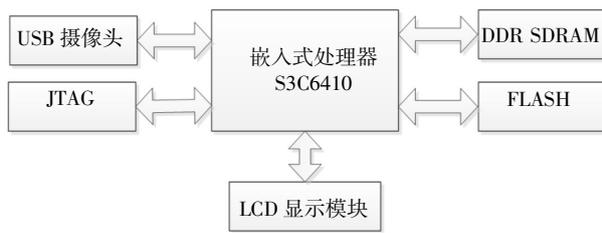


图 1 系统结构框图  
Fig.1 System architecture

## 2 系统软件设计

测距系统的硬件为基本功能和扩展功能提供了扎实的基础,软件系统就是要充分利用硬件资源,实现系统的稳定运行,是整个系统的重要组成部分. 软件部分的设计主要有建立交叉编译环境; Bootloader 的移植; Linux 操作系统和相关驱动的移植; 图像采集、处理和显示. 本文基于 Qt/Embedded 实现图像显示界面.

图像的采集采用了于 ARM11 开发板中外接 USB 摄像头,并在 Linux 内核加载了 USB 驱动和 Video4Linux2(简称 V4L2). V4L2 是 Linux 内核中关于视频设备的内核驱动,本系统中为 USB 摄像头提供统一的编程接口. 系统在实现图像采集时,首先通过调用函数 open("/dev/video0", O\_RDWR) 打开视频设备,然后进行图像采集的参数初始化,申请图像采集的帧缓冲区,并将这些帧缓冲区从内核空间 mmap() 映射到用户空间,通过在队列中循环输入输出帧缓冲区的数据完成图像的采集. 图 2 描述了整个系统图像采集的主要流程.

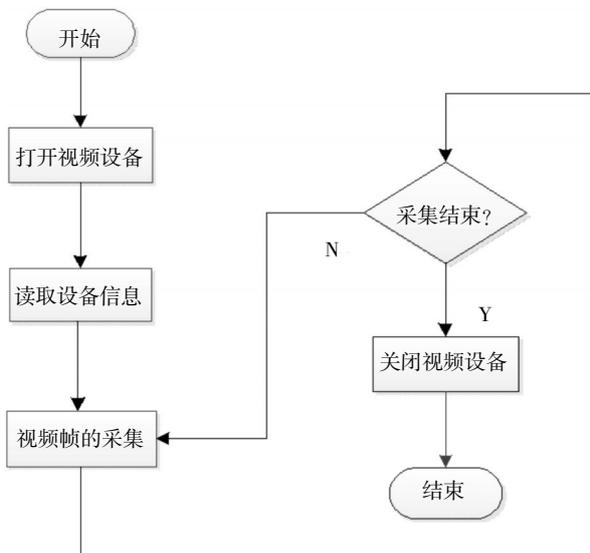


图 2 视频采集流程图  
Fig.2 Flow chart of video capture

嵌入式系统的应用开发是在 PC 机上完成的,在 PC 机上运行调试应用程序,再将程序编译成二进制代码,使程序可以在 ARM11 开发平台上运行. 系统中选用的图形用户界面是具有可移植性好和支持多个 GUI 平台交互开发特点的 Qt/Embedded,所以除了在 PC 机上移植 Qt/Embedded 之外,还必须安装在 ARM11 开发板中. 当一个 Qt/Embedded 应用程序在开发板中能稳定运行时,开发过程才结束. 操作人员可以通过图形界面直观的看到摄像头采集到的图像信息和与被测目标之间的距离信息. Qt/Embedded 的软件开发流程如图 3 所示.

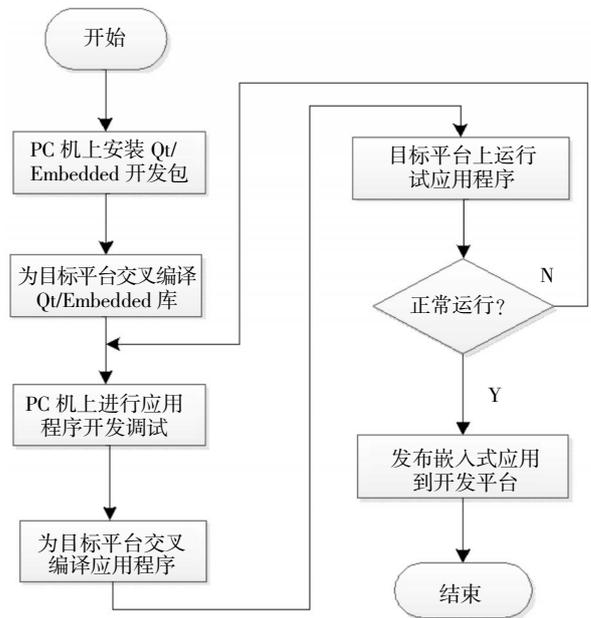


图 3 测距系统的显示流程图  
Fig.3 Display flow chart of ranging system

## 3 嵌入式视觉测距方法

基于单目视觉的测距方法是采用模拟人眼的方式,通过获得丰富的环境图像信息进行测距<sup>[4-5]</sup>,该方法稳定性高,实用性强,还能从图片中获得其它的很多信息,起到辅助驾驶的功能. 但是该方法也存在算法复杂,计算量大等缺点,针对这些不足,本文提出了一种单目视觉基于特征点的测距算法,该算法减少了特征点数目,降低了计算量,大大增加了实时性.

该测距方法主要由激光光源和成像系统构成,系统原理图如图 4 所示.

系统中设定激光束与摄像头的中心光轴平行,当激光源发出光束照射在障碍物表面时,会在障碍物表面形成一个光斑,在 USB 摄像头中显示.

经过图像灰度化、平滑滤波和边缘特征提取处理,对光斑图像运用圆拟合法进行中心坐标运算后,可以得到激光点在图像中的位置坐标,只需获得这个点在沿着  $y$  轴方向上的距离中心点的距离,根据三角测距原理,就可以计算出摄像头与障碍物之间的距离.如公式(1)所示.

$$D = \frac{h}{\tan\theta} \quad (1)$$

根据公式可知,距离  $D$  的运算是以激光源与摄像头之间的距离  $h$  和激光点与摄像头轴线之间的夹角  $\theta$  为已知的前提下计算的,其中  $h$  可以测量获得,本设计中将摄像头与激光源固定测得的高度差  $h$  为 6.0 cm,夹角  $\theta$  也可以根据公式(2)得出.

$$\theta = pfc \cdot rpc + ro \quad (2)$$

其中: $pfc$  (number of pixel from center of focal plane) 为焦平面激光点到中心的像素数量; $rpc$  (Radians per pixel pitch) 表示为每个像素点的弧度; $ro$  (Radian offset) 为弧度补偿,用于弥补对齐错误,矫正数据.

将  $\theta$  带入公式(1)中,可以将  $D$  表示为公式(3)所示.

$$D = \frac{h}{\tan(pfc \cdot rpc + ro)} \quad (3)$$

式(3)中  $rpc$  和  $ro$  可以通过测量实际已知距离和在该距离上摄像头获取的图像信息中激光点的位置信息来验算求出.本文中用于计算  $rpc$  和  $ro$  的校正数据如表 1 所示.

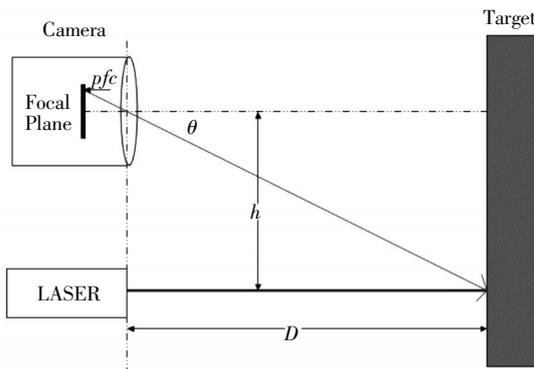


图 4 测距系统原理图

Fig.4 Schematic diagram of ranging system

表 1 校正数据

Table 1 The correction data

| 激光点距离中心的<br>像素数量 | 实际距离<br>$D/cm$ |
|------------------|----------------|
| 57               | 31             |
| 30               | 47             |

将校正数据分别代入公式(3)中可得出两个方程式  $31=6.0/\tan(57rpc+ro)$  和  $47=6.0/\tan(30rpc+ro)$ , 然后计算分别得出  $rpc=0.002\ 398\ 643\ 2$ ,  $ro=0.055\ 279\ 314$ . 则求距离公式(3)中仅有  $pfc$  为未知数,若在不同距离情况下的图像信息中分别求出  $pfc$  的值即可计算出当前实际距离.

本系统软件部分在 Linux 系统下开发,并将程序加载到硬件平台上脱机运行进行实验验证,对障碍物距离检测实验的数据如表 2 所示.

从总体上看,系统的测量值与实际值相差较小,且用作校正数据的距离,在系统中进一步测量时,误差很小,其他数据也基本稳定在实际距离的一定范围内,能满足系统设计要求.与传统测距方法相比较,传统单目视觉测量的数据误差是随着距离的增大而变化的,距离较小时尚能满足系统要求,但当距离越大时其误差也越大,而本测距系统的实验数据中,当距离逐渐增加时,测量误差虽然在一定幅度内变化,但仍具有较高的精度.

表 2 障碍物距离测量数据

Table 2 Obstacle distance measurement data

| 次数 | 测量距离/cm | 实际距离/cm | 误差/cm | 相对误差/% |
|----|---------|---------|-------|--------|
| 1  | 31.25   | 30      | 0.25  | 0.81   |
| 2  | 47.16   | 47      | 0.16  | 0.34   |
| 3  | 56.90   | 60      | 3.10  | 5.17   |
| 4  | 77.63   | 75      | 2.63  | 3.51   |
| 5  | 101.37  | 100     | 1.37  | 1.37   |
| 6  | 136.94  | 130     | 6.94  | 5.34   |
| 7  | 155.73  | 150     | 5.73  | 3.82   |
| 8  | 186.81  | 200     | 13.19 | 6.59   |
| 9  | 291.66  | 300     | 8.34  | 2.78   |

测量值出现误差的主要原因是 USB 摄像头实际采集图像过程中的环境因素以及人为测量中的不准确性,如校正数据中实际的距离的测量误差及激光与摄像头之间距离  $h$  的确定等.对于测距数据中校正数据的实际测量与其他的距离相比较,产生误差的原因是系统近距离与远距离校正值间的差异,系统可在试验中选取不同距离内的两组实际值分别求取  $rpc$  和  $ro$  的值,再对这些  $rpc$  和  $ro$  值取平均值运算,以减少系统测量误差.

## 4 结 语

本文以 ARM11 微处理器作为嵌入式处理器,以 USB 摄像头作为图像采集设备,视觉传感器和激光技术来检测行车与障碍物之间的距离,为了避免相机视觉中对应点匹配引起的测量误差和图像处理

及距离显示的实效性问题,设计了一种单目视觉融合激光技术的测距系统.与传统的测距技术如红外测距、激光测距等相比,具有良好的抗干扰性和低成本等优势,并且通过实验验证系统的测量值稳定在实际距离的一定范围内,能实时有效准确的检测行车与障碍物之间的距离,具有良好的实用性.

## 致 谢

本项目来源于武钢集团锻造厂,方案设计和运行维护都得到了他们的大力支持与协作,在此表示衷心的感谢!

## 参考文献:

- [1] 姜海娇,来建成,王春勇,等.激光雷达的测距特性及其测距精度研究 [J].中国激光,2011,38(5):234-240.  
JIANG Hai-jiao,LAI Jiang-cheng,WANG Chun-yong, et al. Research on ranging property of laser radar and its range [J]. Accuracy Chinese Journal of Lasers, 2011,38(5):234-240.(in Chinese)
- [2] 沈燕,高晓蓉,孙增友,等.基于单片机超声波测距仪设计[J].现代电子技术,2012,35(7):126-129.  
SHEN Yan,GAO Xiao-rong,SUN Zeng-you,et al. Design of ultrasonic ranging instrument based on MCU [J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35 (7): 126-129. (in Chinese)
- [3] 刘鑫,朱靖玉.基于单片机的倒车雷达设计[J].电子设计工程,2012,20(1):94-97.  
LIU Xin,ZHU Jing-yu.Design of automobile reversing rader based on microcontroller[J]. Electronic Design Engineering,2012,20(1):94-97. (in Chinese)
- [4] WAHAB M N A, SIVADEV N,SUNDARAJ K. Target distance estimation using monocular vision system for mobile robot[C]//In: Open system (ICOS) 2011 IEEE conrence on, IEEE,2011:11-15.
- [5] 韩延祥,张志胜,戴敏.用于目标测距的单目视觉测距算法[J].光学精密工程,2011,19(5):1110-1117.  
HAN Yan-xiang,ZHANG Zhi-sheng,DAI Min Monocular vision system for distance measurement based on feature points[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(5): 1110-1117.(in Chinese)

## Design of distance measurement system based on ARM embedded vision

*LIU Chang-hui, SHUAI Kao, YANG Wei-rong*

School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

**Abstract:** In the actual operation by crane operator, there exists the situation that operator can not make avoiding action timely at distance between crane and adjacent obstacles, causing collision accident. Aimed at this collision problem, we established distance measurement system by ARM 11 and USB camera. On the basis of machine vision and image procession, considering the effect of corresponding point match and extrac-tion deviation of single characteristic point on measurement result, we integrated laser technology into monoc-ular vision and adopted the monocular vision method of distance measurement using single laser point. The test result indicates that this system can effectively measure the distance of obstacles with accurate measure-ment and high reliability, meeting real-time requirement.

**Keywords:** embedded; machine vision; image procession; distance measurement by monocular

本文编辑:陈小平