

# 基于 ARM11 的单目视觉车距监测系统<sup>①</sup>

郗瑶颖, 张建阳, 赵祥模, 徐志刚

(长安大学 信息工程学院, 西安 710064)

**摘要:** 驾驶员行车时易出现视觉疲劳和失速现象, 此时难以判断安全车距, 易导致车辆追尾事故. 针对这一问题, 以 ARM11 器件 SAMSUNG S3C6410 为核心搭建了安全车距监测系统; 结合车辆的形态和纹理等特征, 采用多特征融合技术完成复杂环境下的车辆识别, 并根据单目视觉测距原理完成摄像机多角度下的车距检测. 实验结果表明, 该系统能有效监测前车车距, 测量准确、可靠性高且满足实时性要求.

**关键词:** 安全车距监测; 单目视觉; 多特征融合; SAMSUNG S3C6410

## Monocular Vision Car Distance Monitoring System Based on ARM11

XI Yao-Ying, ZHANG Jian-Yang, ZHAO Xiang-Mo, XU Zhi-Gang

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Driver while driving prone to visual fatigue and stall phenomena, at this time it is difficult to judge the safety car distance, easily lead to rear-end collision accident. In order to solve this problem, uses the ARM11 core SAMSUNG S3C6410 devices build a car safety distance monitoring system. Combine of vehicle features such as shape and texture, system uses multi-feature fusion technology to complete the vehicle identification under complex environment, uses the monocular vision principle complete the car distance detection with the camera under multi-angle. The experiments show that this system can effective monitoring the front cars distance, accurate measurement, high reliability and meet the requirements of real-time.

**Key words:** safety car distance monitoring; monocular vision; multi-feature fusion; SAMSUNG S3C6410

汽车在给人们带来方便和利益的同时, 随之而来的问题也显而易见: 随着公路交通的迅速发展, 交通事故频繁发生, 尤其是汽车追尾事故的发生率居高不下, 给人们带来了巨大的经济损失<sup>[1]</sup>. 因此, 各种安全车距检测技术应运而生.

目前, 常用的车距检测技术主要有超声波测距, 毫米波雷达测距, 激光测距. 但是, 这些测距方法由于存在着许多问题而没有得到广泛的应用. 如超声波测距受外界影响大, 且距离越远, 超声波损失越严重; 毫米波雷达测距存在电磁波干扰问题; 激光测距存在成像速度过慢、价格高的问题.

随着图像处理技术和嵌入式技术的不断发展, 视觉测距为安全车距监测提供了一种有效的解决方案, 已成

为车距监测领域的一个重点和热点研究问题. 视觉测距是一种模拟人眼的摄像系统测距方法, 能够获得更精确、更丰富的道路信息, 实现车距的精确测量, 被广泛应用于智能汽车、安全辅助驾驶和车辆预警等领域.

本文以 ARM11 器件 SAMSUNG S3C6410 为核心搭建了安全车距监测系统, 结合车辆的形态和纹理等特征, 采用多特征融合技术完成复杂环境下的车辆识别, 并根据单目视觉测距算法完成摄像机多角度下的前车车距检测, 并实时监测车距.

## 1 系统概述

安全车距监测系统(如图 1)采用视觉测距的方式, 实时测量和显示前车车距. 系统包含摄像机、显示器和

<sup>①</sup> 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2009AA11Z203)

收稿时间: 2012-04-19; 收到修改稿时间: 2012-05-30

处理器. 系统的工作过程是: 摄像机采集视频并送入处理器中, 处理器处理视频, 将结果输出到显示器上.

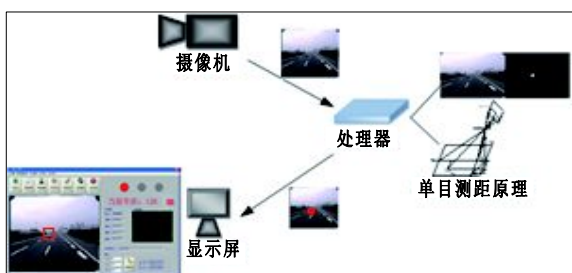


图 1 安全车距监测系统图

## 2 系统硬件设计

系统的主要硬件功能模块包括视频输入模块、数据处理模块(SAMSUNG S3C6410)、显示模块、存储模块(2G Nand Flash)以及电源模块. 系统结构如图 2 所示.

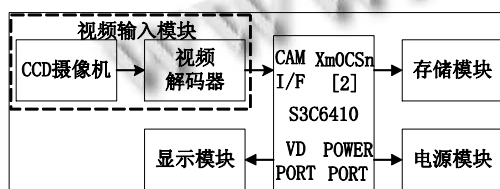


图 2 系统结构图

系统的基本工作原理: CCD 摄像机将采集到的模拟视频信号送往视频解码器(TVP5150PBS4G<sup>[2]</sup>), 视频解码器将该模拟信号转换成 ITU-R BT.656 数字视频信号, 然后送入 SAMSUNG S3C6410 视频通道口(CAM I/F), 经过 SAMSUNG S3C6410 处理后的数字视频信号通过内置的多格式视频编码器将数字视频信号转换为 PAL 制模拟视频信号进行视频回放, 并将处理后的检测结果送往 LCD 触摸屏显示.

### 2.1 SAMSUNG S3C6410 模块

SAMSUNG S3C6410<sup>[3]</sup>采用 ARM1176JZF-S 内核, 工作频率高达 667MHz. S3C6410 包括优化的外部存储器接口 DRAM 和 Flash/ROM/DRAM 端口, 可以与 SDRAM 和 Flash/ROM/DRAM 等类型的外部存储器无缝连接, 并提供一个 8 位相机接口和集成的多格式编码器, 支持 NTSC、PAL 模式的 TV 输出. 是一款专门为数字媒体应用而设计的芯片.

### 2.2 视频输入模块

视频输入模块由 TVP5150PBS4G(视频解码器)及其外围电路和 CCD 摄像机组成, 主要功能是将摄像机

采集的模拟视频信号进行解码, 并向 SAMSUNG S3C6410 的 CAM I/F 端口输出数字视频信号.

TVP5150PBS4G 与 SAMSUNG S3C6410 的连接图如图 3 所示, TVP5150PBS4G 的视频输出端口 YOUT[7:0]与 SAMSUNG S3C6410 的 XciYDATA[7:0]连接, 用于数据的传输. TVP5150PBS4G 的系统时钟 SCLK 和 SAMSUNG S3C6410 上的 XciCLK/GPF0 相连, 用于同步数据传输时的时钟信号. SAMSUNG S3C6410 通过 I2C 总线对 TVP5150PBS4G 内部寄存器进行读写来控制该芯片.

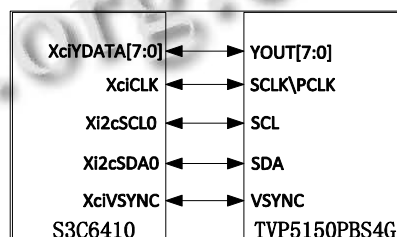


图 3 SAMSUNG S3C6410 和 TVP5150PBS4G 的连接图

### 2.3 显示模块

显示模块包括两个部分: LCD 触摸屏显示和模拟信号显示器显示. LCD 显示可直接将 40 针的 LCD 触摸屏和 SAMSUNG S3C6410 连接. 主要功能是将处理后的数字信息和图像信息显示在 LCD 触摸屏上并与用户进行交互. 显示屏显示的主要功能是利用 SAMSUNG S3C6410 内置的编码器将处理后的数字视频信号进行编码, 再将编码成的模拟视频信号送往显示器显示.

### 2.4 存储模块

SAMSUNG S3C6410 的外部存储器接口自地址 0x70000000 起, 数据的访问和传输都需要通过 PERI 总线. 目前, SDRAM, NAND FLASH 存储器由于其容量大, 价格适中而广受欢迎. 系统将引导程序和主程序代码存放在 NAND FLASH 中, 而将大量的图像和视频数据存放在大容量的 SD CARD 中. 系统从 NAND FLASH 启动引导系统, 而在 SDRAM 上执行主程序代码. 在系统启动时, NAND FLASH 存储器的前 4KB 可自动载入到内部 SRAM 缓冲区中, 然后系统自动执行这些载入的引导代码.

## 3 单目视觉车距检测算法

基于单目视觉的测距方法采用模拟人眼的方式,

通过获得丰富的图像信息进行测距,该方法稳定性高,实用性强,还能从图像中获得其他的很多信息.然而该方法也存在算法复杂、计算量较大、标定过程复杂等缺点<sup>[4]</sup>.针对这些不足,借助应用背景,本文提出了一种改进的单目视觉测距算法,该算法计算量小,标定简单,而且误差在 5% 内.

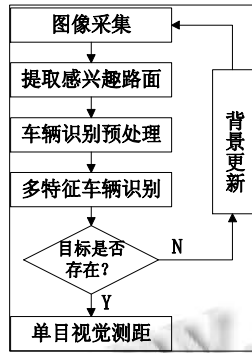


图 4 单目视觉车距测距流程图

### 3.1 基于路面灰度的车辆识别预处理

通常,路面灰度分布比较均匀,而周边的建筑物灰度分布不均匀.为此,图像分割前首先提取路面.往往由于光照的原因,路面灰度有波动,因此,将路面分为三个部分进行采样,如图 5(a)所示.然后以 16\*16 的块扫描图片,并根据(1)提取感兴趣区域.

$$f(Avg, D) = \begin{cases} 1 & |Avg - avg| < k_1 \ \& \ |D - d| < k_2 \\ 0 & |Avg - avg| > k_1 \ \& \ |D - d| > k_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中 Avg 为被测块的均值; D 为被测块的方差; k<sub>1</sub> 为均值调整系数; k<sub>2</sub> 为方差调整系数.这里选择 k<sub>1</sub>=50, k<sub>2</sub>=40,该方法可有效解决因光照而造成的路面识别问题.识别结果如图 5(b)所示.接下来通过外接梯形确定路面边缘的两条直线,即感兴趣路面区域.

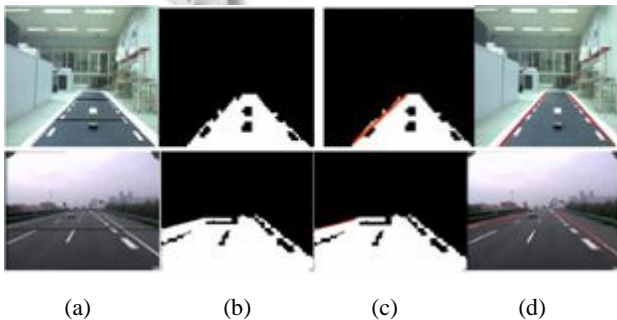


图 5 (a)路面分割图(b)多采样后的路面分割图(c)左边边缘初始线(d)确定路面区域

得到感兴趣路面区域后,采用基于路面灰度的分割算法对图像进行预处理,初步确定可能的车辆区域.处理结果如图 6 所示.



图 6 基于路面灰度的车辆识别预处理结果

### 3.2 多特征融合法识别车辆

虽然利用前面介绍的阈值分割方法进行预处理后,可以较好的将车辆区域分割出来,然而还需要对前面获得的车辆区域进行进一步的判别,本文采用车辆的特征信息对车辆进行识别.车辆区别于其它噪声比较明显的特征是:形态和纹理.

首先利用矩形度进行车辆判别.一般,由于图像中的倾斜度较小,所以在这里计算矩形度不考虑目标的旋转问题,即:

$$d = \frac{S}{S_r} \quad (2)$$

其中 S 为区域面积, S<sub>r</sub> 为外接矩形面积.

其次,利用广义分形维数<sup>[5,6]</sup>进行车辆判别.在图像中,假设一幅图像的大小为 N\*N,并被划分为 m\*m(其中: N/m ≥ m ≥ 1, m 是整数)大小的子图像,那么 d=m/N.把图像看作三维空间(X,Y,Z),其中(X,Y)表示图像像素的二维位置,Z表示灰度值.(X,Y)平面被划分为 m\*m 大小的网格,在每一个网格处 Z 方向有一列 m\*m 大小的小立方体.假如在第(i,j)<sup>th</sup>个网格处灰度的最小值和最大值分别是第 min<sup>th</sup>个和第 max<sup>th</sup>个小立方体处,那么整个图像内的网格处的小立方体总数为:

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i, j) \quad (3)$$

根据上式计算出的不同 r 值对应的 N<sub>r</sub> 值,有下式成立:

$$\begin{cases} \mu_r(i, j) = \frac{n_r(i, j)}{N_r} \\ x(q, r) = \sum_{i,j} [\mu_r(i, j)]^q \\ (q-1)D(q) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln x(q, r)}{\ln r} \quad q \neq 1 \end{cases} \quad (4)$$

根据(3)和(4),利用最小二乘法求集(lg(x(q,r)),lg(r))线性回归线的斜率,即为该目标图像的广义分形维数

$D(q)$ , 这里  $q$  为阶次.

将这两种特征融合识别车辆, 增强了车辆识别的可靠性. 处理结果如图 7 所示.



图 7 车辆识别实验结果图

### 3.3 改进的单目视觉测距算法

视觉测距要完成三次坐标转换: 从三维世界坐标系转换到摄像机三维坐标系( $X_w Y_w Z_w - X_c Y_c Z_c$ ); 从摄像机三维坐标系到像平面二维坐标系的转换( $X_c Y_c Z_c - xy$ ); 从像平面二维坐标系到帧存坐标的转换( $xy - uv$ ). 图像采集是将空间的三维坐标转换到 CCD 摄像机的二维坐标, 可以用小孔成像的原理来描述此过程<sup>[7-9]</sup>. 这里采用针孔模型测距方法.

测距模型如图 8 所示:  $P(x,y)$ 是物体,  $P1(u_0,v_0)$ 是物体在图像中的特征点. 若摄像机位于  $C$  点, 与水平面的夹角为  $\beta$ , 摄像机水平最大视角在地面上的投影与  $y$  轴的夹角为  $\theta$ , 摄像机最小视角与地平面的夹角为  $\alpha$ ,  $y_a$ 是摄像机最大视角投影在地面上的距离,  $y_b$ 是摄像机的最小视距,  $x_a$ 是摄像机水平最大视距,  $h$ 是摄像机到地面的距离.  $U$ 、 $V$ 分别为图像的宽度和高度.

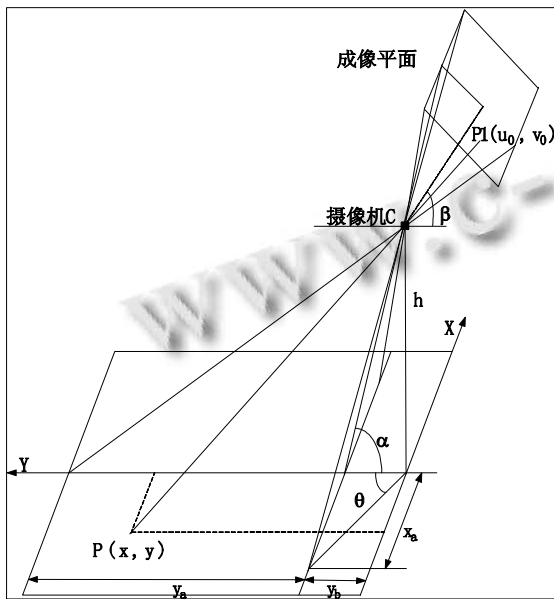


图 8 单目测距模型图

由此可得如下关系:

$$\begin{cases} \alpha = \arctan\left(\frac{h}{y_b}\right) \\ \beta = \arctan\left(\frac{h}{y_b + y_a}\right) \\ \theta = \arctan^{-1}\left(\frac{x_a}{y_b + y_a}\right) \end{cases} \quad (5)$$

则:

$$\begin{cases} x = y \tan\left(\frac{|u-u_0|}{U/2} * \theta\right) \\ y = h \tan\left((90-\alpha) + \left(1-\frac{v}{V}\right) * (\alpha-\beta)\right) \end{cases} \quad (6)$$

由(5)和(6)可知, 若要得到  $P$  点坐标( $x,y$ ), 需要已知摄像机的参数  $\alpha$  和  $\beta$ , 即对摄像机进行标定.

标定需要参照物, 一次标定后就可进行后续的测量且在后续测量中不需要参照物. 标定的具体过程是: 若已知此平面上的两点  $P1(x_1,y_1)$ 和  $P2(x_2,y_2)$ , 对应在此平面上的坐标为  $p1(u_1,v_1)$ 和  $p2(u_2,v_2)$ , 则可得摄像机的内外参数  $\alpha$  和  $\beta$ .

$$\begin{aligned} \alpha - \beta &= \frac{\left[ \arctan \frac{y_1}{h} - \arctan \frac{y_2}{h} \right]}{v_2 - v_1} = m \\ \alpha &= 90 - \arctan \frac{y_1}{h} + \left( 1 - \frac{v_1}{V} \right) * m \\ \beta &= \alpha - m \end{aligned} \quad (7)$$

## 4 检测结果

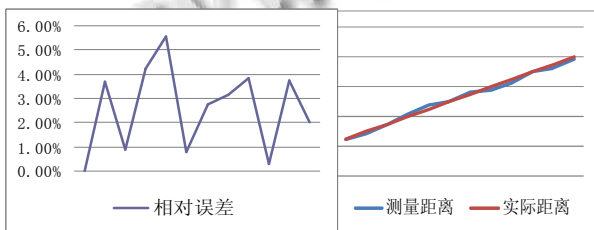
本系统软件部分在 Linux 系统下开发, 并通过 JTAG 口把程序下载到系统设计的硬件平台上进行脱机运行. 对车辆识别的效果如图 7 所示, 前车车距测量结果如表 1 所示. 实验表明摄像机采样频率达到 30 帧/秒, 系统处理速度达到了 15 帧/秒, 最大前车检测距离可达 150m, 图 9 为系统软件图, 图 10 为车距测量结果图, 且测量距离和实际距离曲线吻合的比较好, 测量误差在 5%之内.



图 9 系统软件图

表 1 前车车距测量结果表

标定参数	$\alpha:0.805655 \quad \beta:1.202577$		
实验次数	测量距离	实际距离	相对误差
1	20.00m	20m	0.00%
2	41.47m	40m	3.67%
3	60.52m	60m	0.87%
4	72.98m	70m	4.25%
5	84.45m	80m	5.56%
6	90.72m	90m	0.80%
7	102.70m	100m	2.70%
8	113.49m	110m	3.17%
9	124.12m	120m	3.43%
10	130.38m	130m	0.29%
11	145.22m	140m	3.73%
12	153.00m	150m	2.00%



(a) 测量误差图 (b) 测量距离与实际距离比较图  
图 10 车距测量结果图

## 5 结语

本文以 ARM11 器件 SAMSUNG S3C6410 为核心搭建了安全车距监测系统的硬件平台, 并采用多特征

信息融合和单目视觉原理相实现车距的实时监测. 实验结果表明, 该系统在满足实时性的同时能有效、准确的检测前方车辆的车距, 能适用于智能汽车、安全辅助驾驶和车辆预警等系统中.

## 参考文献

- 1 梁忠原. 基于车-车通信安全距离模型的驾驶员辅助决策研究[硕士论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.1-12.
- 2 TVP5150A datasheet. Texas Instruments Incorporated. March 2004.
- 3 The SAMSUNG S3C6410 Mobile Processor Data Manual. Literature Number: DS-08-SLSI-001. SAMSUNG Electronics Co, April 2008.
- 4 代科学, 李国辉, 涂丹, 袁见. 监控视频运动目标检测背景技术的研究现状和展望. 中国图象图形学报, 2006, 11(7): 919-927.
- 5 姚敏. 数字图像处理. 北京: 机械工业出版社, 2006. 256-258.
- 6 徐友春. 智能车辆视觉与 GPS 综合导航方法的研究[博士论文]. 长春: 吉林大学, 2001. 5-12.
- 7 谢云, 杨宜民. 自主足球机器人的单目视觉自定位方法. 微电子学与计算机, 2005, 22(10): 129-132.
- 8 Katsuki R, Ota J, Mizuta T, Kito T, Arai T, Ueyama T, Nishiyama T. Design of an artificial mark to determine 3D pose by monocular vision. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, 1(9): 995-1000.
- 9 于洪川, 吴福朝, 袁波. 基于主动视觉的摄像机自标定方法. 机器人, 1999, 21(1): 1-7.

(上接第 7 页)

- 2 陈宗雨, 王立峰, 郭伟, 李从心. 一种新型开放式数控原型系统的开发. 机床与液压, 2006, (10): 180-182.
- 3 王普, 张蕾, 郝立伟. 基于 RTX 的纯软件数控系统的研究. 燕山大学学报, 2007, 31(6): 513-516.
- 4 李宏科. 一种基于 RTX 的实时系统的实现. 装备制造技术, 2006, (3): 55-57.
- 5 田昊, 潘清. RTX 实时效果测试及应用. 计算机系统应用, 2007, 16(2): 103-106.
- 6 黄键, 宋晓, 薛顺虎. RTX 平台下实时仿真系统的设计方法. 计算机应用与研究, 2009, 26(4): 167-169.
- 7 Kruglinski DJ, Wingo S, Shepherd G. Visual C++ 6.0 技术内

幕. 北京: 希望电子出版社, 1999.

- 8 王爱玲. 现代数控原理及控制系统. 长沙: 国防工业出版社, 2003.
- 9 江小勇. 雕刻机数控代码自动生成的研究. 南京: 河海大学, 2007.
- 10 蒋志冬, 丁庆生. 基于 FPGA 实现的多轴数控雕刻机系统. 机电产品开发与创新, 2006, 19(1): 129-131.
- 11 肖本贤. 喷墨绘图机中步进电机的升降速控制. 微机电, 2001, 34(4): 28-33.
- 12 徐志明, 陈金成, 冯正进, 蒋厚宗. Windows 平台上三轴联动数控雕刻机的开发. 制造技术与机床, 2002, (4): 16-18.