

文章编号:1007-2780(2014)03-0422-07

基于 FPGA 的汽车单目测距系统设计

刘 强,潘 明*,李永伟

(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院,广西 桂林 541004)

摘要:为了避免交通追尾事故的发生,提出了一种基于现场可编程逻辑门阵列(FPGA)的嵌入式汽车测距方案。对该系统所采用的图像采集、图像处理、基于小孔成像原理的单目车距测量等算法进行研究。系统以友晶公司 DE2 FPGA 开发板为硬件平台,通过对 PAL 制模拟摄像机输出的 CVBS(Composite Video Broadcast Signal)视频流的采集、灰度化、滤波、边缘检测、膨胀、腐蚀、车牌定位、车牌大小的检测、液晶屏显示,实现了单目视觉汽车实时测距。整个系统使用 Verilog 硬件描述语言实现图像采集与显示、各种图像处理算法、车牌定位与车距测量算法,图像处理速度达到了每秒 25 frame/s,大大提高了系统的实时性。实验结果表明,系统所测试的距离误差最大仅为 2.57%。该系统可用于汽车辅助驾驶,预防汽车追尾,也可用于智能机器人视觉。

关 键 词:FPGA;单目测距;DE2;CVBS;车牌定位

中图分类号:TP212 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142903.0422

Design of vehicle monocular ranging system based on FPGA

LIU Qiang, PAN Ming*, LI Yong-wei

(School of Electronic Engineering and Automation,
Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to avoid rear-end collision, an embedded car ranging system based on the field-programmable gate array(FPGA) is presented and its applied algorithms such as image acquisition, image processing, monocular distance measurement based on small hole imaging and etc are investigated. The hardware platform for the design is Terasic DE2 FPGA development board. The system uses a single camera to measure the distance in real time between two cars. It acquires the CVBS (Composite Video Broadcast Signal) video stream from PAL camera. The system detects the range by image graying, filtering, detecting edge, dilation, erosion, locating license plate, computing the size and liquid crystal display. The whole system uses Verilog hardware description language to realize image acquisition and display, all kinds of image processing algorithm, license plate location and distance measurement algorithm. The image processing speed reaches 25 frame/s which greatly improves the real-time performance of the system. Experimental results indicate that the maximum distance error is only 2.57%. The system can be used for the auxiliary driving to prevent the collision or intelligent robot vision.

Key words: FPGA; monocular ranging; DE2; CVBS; license plate location

收稿日期:2013-09-25;修订日期:2013-10-12.

* 通信联系人, E-mail: pan_m@guet.edu.cn

1 引言

目前国内外针对汽车测距主要有超声波短距离测距、微波雷达长距离测距、激光测距、摄像系统测距等,其中超声波测距适合短距离测距,雷达或激光测距少则几千元,动辄上万元,成本高,而且雷达测距容易受到电磁波干扰,雷达装置之间以及其它通信设施的电磁波干扰会导致车辆的误操作^[1-3]。摄像系统测距具有精准度高、功耗低、稳定性好、非接触性测量等优点,而且视觉测距是被动式测距方式,不会对人体造成危害。摄像系统测距又可分为单目测距和多目测距。多目视觉测距成本高,受软件和硬件的制约,成像速度慢,而单目视觉汽车测距中很多依赖车宽和车道线^[4-5],通过检测映射在摄像头中车宽像素大小进而求出车距,如果改变车宽或者在没有车道线的路面,可能发生错误或者检测不到距离。目前大多数算法都在PC机上运行,通用PC机冗余的功能、高额的成本和较大的体积是应用在车载系统中难以克服的瓶颈^[6-7]。在工程中,基于嵌入式平台的数字图像处理系统能够得到更广泛的应用^[8],系统采用单个摄像头检测车牌进而计算车距,受制条件少,准确度较高,相对PC机本系统体积小、功耗低、实时性好并可以车载。

2 系统设计

2.1 系统硬件平台

硬件平台选用友晶公司的DE2 FPGA开发板,板载有Altera Cyclone II系列的EP2C35F672 FPGA芯片,内含35 000个逻辑单元(LE),一个8 MB的SDRAM,一个视频解码器ADV7181B,支持多种格式的模拟视频信号输入,包括各种制式的CVBS信号,S-Video和YPrPb分量,可以自动检测NTSC、PAL、SECAM及兼容的各种标准模拟基带电视信号^[9]。选用PAL制式600线1/3" CCD模拟摄像头,焦距8 mm,每两个像素点之间的距离是0.007 mm。液晶显示器是数字终端显示最理想的显示器件之一^[10-11],系统选用奇美公司17.78 cm(7 in)EK070TN92(800×480)数字液晶屏,通过DE2开发板GPIO口和FPGA连接。

2.2 测距原理与整体方案

根据小孔成像原理,CCD摄像机的成像几何关系可用小孔成像原理来近似表示,从图1中易得式(1),其中: H 为车牌大小, D 为车距, h 是车牌映射到摄像头中的大小, f 为摄像头焦距。测距模型中,车距与图像大小成反比,若已知车牌的实际尺寸和摄像机的焦距,车距便可以求得。

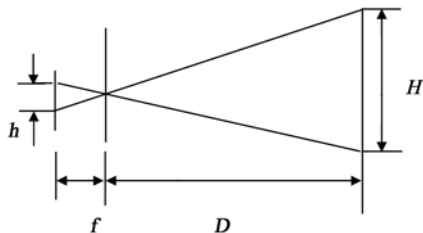


图1 小孔成像模型图

Fig.1 Pinhole camera model

$$D = \frac{fH}{h}. \quad (1)$$

系统整体框图如图2所示,CCD视频捕捉模块捕捉摄像头输出的CVBS视频流,经过过去隔行和格式转化操作,视频信号由隔行的YCbCr 4:2:2变为逐行YCbCr 4:4:4,其中去隔行需要使用SDRAM进行缓存。视频流一路经过色彩空间转换模块将YCbCr信号化为RGB彩色视频信号,提取另一路视频信号YCbCr的亮度信号Y,即灰度化,再经过中值滤波、边缘检测、边缘增强(膨胀和腐蚀)、车牌定位与车牌长宽的测量,进而求出车距。每一种图像处理算法效果图都可以直接在LCD显示器上实时示,方便调试。

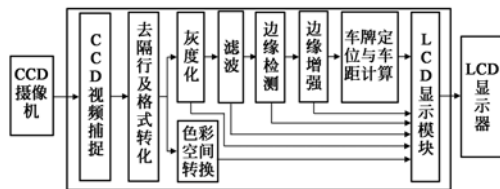


图2 系统整体框图

Fig.2 System whole diagram

3 功能模块设计

3.1 CCD视频解码

ADV7181B负责视频解码,其读写地址分别为0X41、0X40,配置输出位宽为8 bit CCIR656

数据,即 ITU-R BT. 656,不需要同步信号,通过嵌入式控制字 SAV 和 EAV 来判断有效视频的起点和终点。

3.2 去隔行及格式变换

经过配置的 ADV7181B 输出 576 行数据,取其后 480 行作为显示。系统采用 PAL 电视标准,25 frame/s,奇数场在前,偶数场在后,因此需要对其进行去隔行操作。将奇偶行合并成一幅完整的图像,再通过格式变换将 YCbCr 4:2:2 的数据转换成 YCbCr 4:4:4 的数据,通过颜色空间变换,变成 RGB 数据,最终在液晶屏上逐行显示。

3.3 灰度化与滤波

图像的灰度化只需要提取 YCbCr 4:4:4 中的亮度 Y 即可,Y 值为 8 bit 数据,亮度分为 0~255 共 256 级,0 最暗,255 最亮。

摄像头采集到的图像一般会有一些噪声干扰,这容易对后续车牌识别造成干扰,要经过滤波去除干扰。常用的滤波有均值滤波、中值滤波、高斯滤波、Gabor 滤波、各向异性扩散平滑滤波等。考虑到算法的固有优缺点和 FPGA 实现起来的难易度,系统使用算法较简单、执行速度快的中值滤波。

中值滤波处理椒盐噪声有很好的效果,滤波器不会影响垂直边缘,但弯曲的边缘的位置会有所偏移^[12]。中值滤波函数如式(2), P_n 为第 n 个像素的像素值, R 为当前像素输出结果。

$$R = \text{Med}\{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\} = \begin{cases} P_{i(\frac{n+1}{2})}, & \text{当 } n \text{ 为奇数时} \\ \frac{1}{2}[P_{i(\frac{n}{2})} + P_{i(\frac{n}{2}+1)}] & \text{当 } n \text{ 为偶数时} \end{cases} \quad (2)$$

中值滤波的基本原理是把数字图像中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替,一般选取 $n=9$,即 3×3 窗口,也可根据实际情况选择

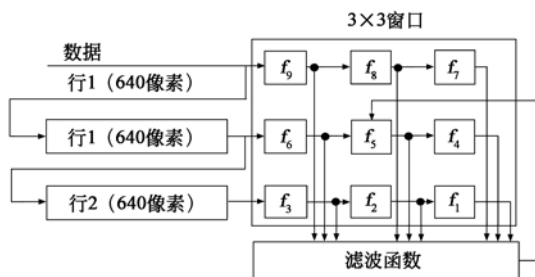


图 3 中值滤波示意图

Fig. 3 Median filter diagram

更大的窗口,工作流程如图 3 所示。首先将模板内(窗口)所涵盖的像素按灰度值由小到大排列,再取序列中间点的值作为中值,并以此值作为滤波器的输出值,行 1 到 2 调用 Quartus II 的 Shift Register 来保存一行 640 个像素点。

针对 3×3 窗口,滤波函数要求出 9 个数中的中间值,实现过程如图 4 所示,实现原理为冒泡法,圆角矩形代表比较两个数的大小,较小的数在左边输出,较大的数在右边输出,这样的结构发挥了 FPGA 并行处理数据的能力。仿真时序图如图 5 所示,在 130 ns 前的上升沿输入 9 个数据 $P_1 \sim P_9$,经过 9 个上升沿输出中值结果 0X5B,对应了中值滤波函数实现示意图中的 9 个步骤实现冒泡法。

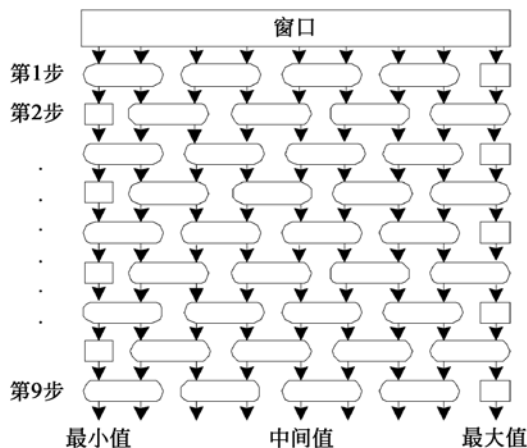


图 4 中值滤波函数实现示意图

Fig. 4 Median filter function diagram

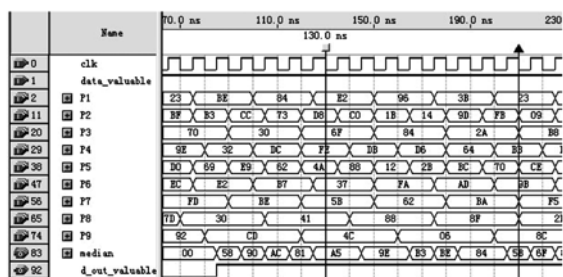


图 5 中值滤波仿真时序图

Fig. 5 Median filter simulation diagram

3.4 边缘检测

常用的边缘检测算法有 Sobel 边缘检测、Prewitt 边缘检测、Robert 边缘检测、Kirsch 边缘检测、Laplace 边缘检测、Canny 边缘检测、Marr

边沿检测等。

系统采用了常用的 Sobel 边沿检测,它是一离散性差分算子,用来运算图像亮度函数的梯度之近似值。Sobel 有两个算子,一个是检测水平

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \text{另一个是检测垂直边缘的 } G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G_x \text{ 的计算过程如图 6 所示,计算公式如式(3), } P_n \text{ 代表像素值, } X_n \text{ 表示 } G_x \text{ 算子中的系数。} G_y \text{ 的计算和 } G_x \text{ 的类似,计算公式如式(4)。通过式(5)可以计算当前的像素 } P_5 \text{ 的值。公式的计算调用 Quatrus II 中的 ALTMULT_ADD、PARALLEL_ADD 和 ALTSQRT IP 核即可。}$$

图 6 所示,计算公式如式(3), P_n 代表像素值, X_n 表示 G_x 算子中的系数。 G_y 的计算和 G_x 的类似,计算公式如式(4)。通过式(5)可以计算当前的像素 P_5 的值。公式的计算调用 Quatrus II 中的 ALTMULT_ADD、PARALLEL_ADD 和 ALTSQRT IP 核即可。

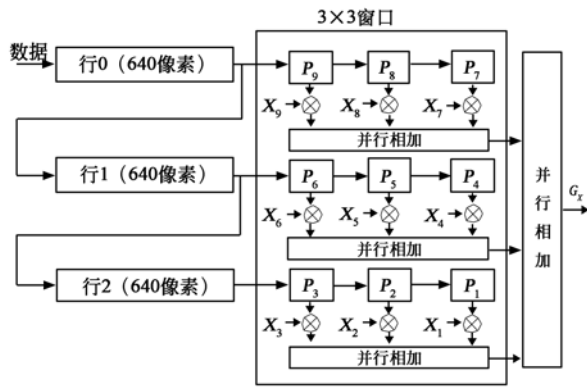


图 6 Sobel 边缘检测 G_x 运算示意图

Fig. 6 Sobel edge detection G_x operation diagram

$$G_x = X_1 P_1 + X_2 P_2 + \dots + X_9 P_9, \quad (3)$$

$$G_y = Y_1 P_1 + Y_2 P_2 + \dots + Y_9 P_9, \quad (4)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (5)$$

3.5 膨胀与腐蚀

图像边缘检测之后,由于图像的边缘信息还不是很突出,所以需要对该图像进行进一步的优化。膨胀可以用来填补物体中的空洞,腐蚀可以用来消除小且无意义的物体。经过腐蚀和膨胀后的图像车牌边缘信息更加明显。

膨胀和腐蚀算法工作流程类似于中值滤波,如图 3 所示,滤波函数分别为式(6)和式(7):

$$R_d = P_1 | P_2 | \dots | P_n, \quad (6)$$

$$R_e = P_1 \& P_2 \& \dots \& P_n, \quad (7)$$

从式(6)~(7)可以看出膨胀算法是对 n 个像

素相或运算,腐蚀的过程是相与运算,选用 $n=9$,即 3×3 窗口。

3.6 车牌定位与车距检测

膨胀腐蚀过后的二值化图像车牌轮廓比较清晰,对整幅 640×480 的图像进行车牌检测,我国九二式大型机动车前牌和后牌国标尺寸分别是 $440 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ 和 $440 \text{ mm} \times 220 \text{ mm}$,小型机动车前后车牌都是 $440 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ 。 440×140 长宽比大约在 3.1 左右, 440×220 长宽比为 2。

车牌定位是搜寻图像中构成矩形的直角,检测到车牌左上角和右下角坐标,根据构成矩形长宽比例来判断图中搜索到的矩形是否是车牌,确定是车牌后即可求出车牌在摄像头中的长宽,根据式(1)很容易求出车距。

以 5×5 的窗口为例,由于窗口中的最后一行数据为图像的第一行数据,所以 FPGA 中处理的图像与实际图像相反。如果出现类似于图 7 中的中直角的情况,认定此时为车牌的左上角,记下 P_7 像素所处的坐标 (X_1, Y_1) ,同理在图 8 中,记下 P_{19} 的坐标 (X_2, Y_2) 。此时很容易求出车牌的长宽比例 $\frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1}$,如果在 3.1 倍或者 2 倍左右便认为是车牌,再进行车距的计算。

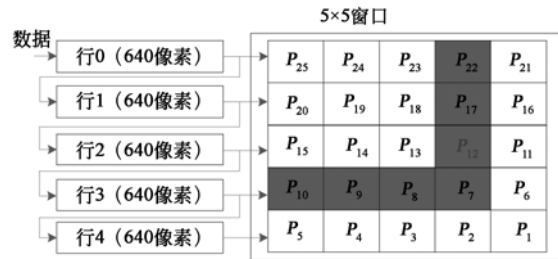


图 7 车牌左上角的检测示意图

Fig. 7 Car license plate upper left corner detection diagram

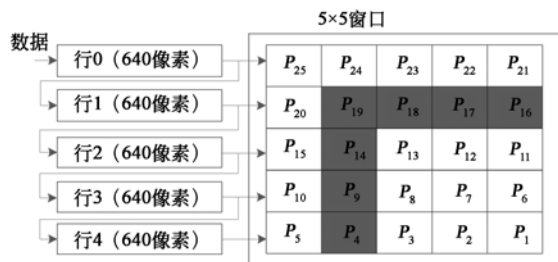


图 8 车牌右下角的检测示意图

Fig. 8 Car license plate lower right corner detection diagram

上面是理想的情况,实际上车牌的倾斜、光线等原因会造成系统检测不到像上图那样理想的直角,这就需要使用更大的窗口,系统使用 60×60 的窗口,实际可以检测到 15° 左右的倾斜车牌,如果想增大角度,需要更大的窗口。对于不规则的直角,图 9 中可以看到第 1 行和第 2 行是直角的水平边沿,其中灰色的方格代表 1,白色的方格代表 0。如果 $(P_{19} | P_{14})(P_{18} | P_{13})(P_{17} | P_{12})(P_{16} | P_{11}) = 1$ 时,便认定此线是直角的水平边沿线,同理 $(P_{18} | P_{19})(P_{14} | P_{13})(P_9 | P_8)(P_4 | P_3) = 1$ 时,便认定第二列是直角的竖直边沿线,换做更大的窗口检测原理类似。

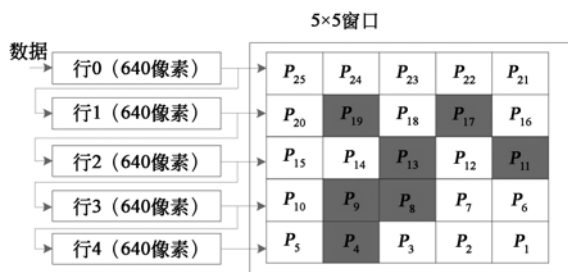


图 9 不规则直角示意图

Fig. 9 Irregular right corner diagram

如果一幅图像中检测有多个直角,那么计算每个直角所构成的矩形长宽比例,排除不符合车牌比例的矩形的坐标。

3.7 LCD 显示模块

液晶屏的分辨率为 800×480 ,左边的 640×480 用来显示每种图像处理效果,右边的 160×480 用来显示图像处理的模式和学校信息。

PAL 制式的摄像机视频画面有效分辨率为 720×576 ,视频最终以 640×480 的分辨率显示在液晶屏左边,将摄像头输出的每一行数据的 720 个像素点每 9 个像素剪裁掉 1 个,变成每行 640 个像素点。

汉字的显示需要使用 PCtoLCD2002 软件进行取模,将生成的 C 代码数值相应的填入 mif 文件,作为 ROM 的初始化使用,显示时调用 ROM 显示即可。

4 系统整体调试

系统整体实物图见图 10,系统各个图像处理

算法效果图如图 11 所示。

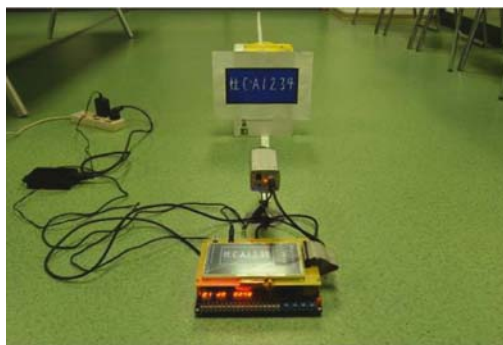


图 10 系统整体实物图

Fig. 10 Design picture

实验所用车牌大小为 $220 \text{ mm} \times 110 \text{ mm}$,和实际车牌大小等比例,以矩形的长为基准, $f=8 \text{ mm}$, $H=220 \text{ mm}$, $h=(X_2 - X_1) \times 0.007$,根据式 (1),便能够求出车距 D 。同样也可以以矩形的宽为基准, $h=(Y_2 - Y_1) \times 0.007$ 。在实验室条件下进行测试,实验结果见表 1。

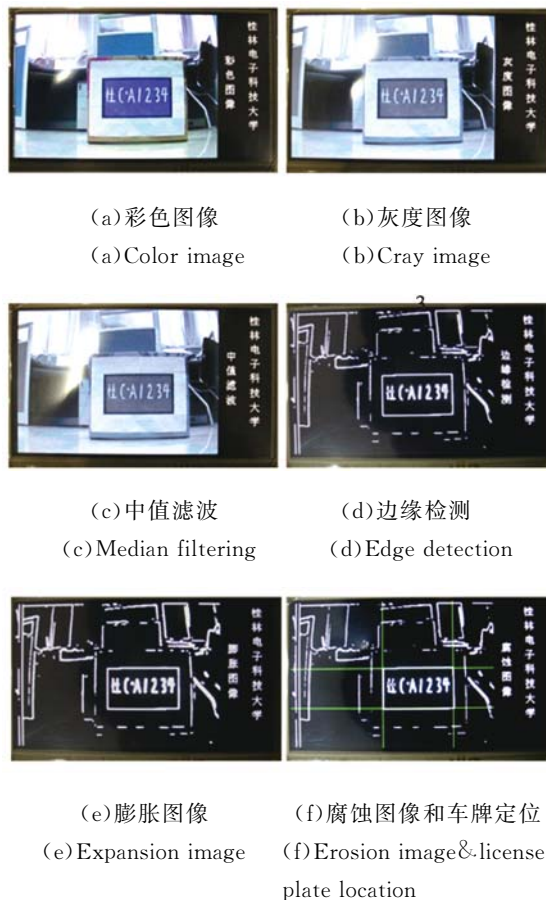


图 11 图像处理效果图

Fig. 11 Image processing effect

表 1 实验结果

Tab.1 Experimental result

实际距离/cm	所测距离/cm	误差/%
60	61	1.67
80	81	1.25
100	101	1
140	142	1.43
160	161	0.63
200	200	0
250	251	0.40
300	300	0
350	359	2.57
400	397	0.75

由于摄像头镜头焦距短,导致摄像头检测距离受到限制,摄像头的图像传感器面积(1/3")小,

导致对拍摄的图像不够细腻,造成拍摄的图像质量下降,给车牌定位造成困难,进而影响车距计算。即使这样的条件下,车距的误差率最高仅为 2.57%。针对于实验室车牌 220 mm×110 mm,可以识别范围在 4 m 左右。如果车牌换成实际车牌尺寸,理论上检测距离增倍,如果换做焦距比较长的镜头,检测距离非常可观。

5 结 论

传统的图像处理多在 PC 机上进行静态图像处理,处理过的过程多调用现有的库函数,而本系统采用了嵌入式的方案,使用 FPGA 从最底层对实时的视频流进行处理,相对于前者具有体积小,实时性高,测距准确的特点。实验结果表明,系统所测试的距离误差最大仅为 2.57%,可用于车载辅助驾驶,预防汽车追尾,也可以用于智能机器人视觉。

参 考 文 献:

[1] 钟勇,姚剑锋.现代汽车的四种测距方法[J].汽车工业研究,2001,2: 38-40.
Zhong Y, Yao J F. Four distance measuring methods of the modern car [J]. *Auto Industry Research*, 2001, 2: 38-40. (in Chinese)

[2] 刘燕,刘浩学.基于计算机视觉的单目摄影纵向车距测量系统研究[J].公路交通科技,2004,21(9): 103-106.
Liu Y, Liu H X. Research on Lengthways vehicle distance measurement system of monocular photograph based on computer Vision [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2004, 21(9): 103-106. (in Chinese)

[3] 王展青,陈顺云.基于单目视觉的车距测量方法综述[J].工程技术,2010,27(9): 33-38.
Wang Z Y, Chen S F. Review of vehicle distance measurement based on monocular vision [J]. *Science & Technology Information*, 2010, 27(9): 33-38. (in Chinese)

[4] 龙丹,许勇.基于数字图像处理的汽车测距算法研究[J].中国西部科技,2008(1):36-39.
Long D, Xu Y. Study of vehicle distance measurement algorithm using image processing technology [J]. *Science and Technology of West China*, 2008(1):36-39. (in Chinese)

[5] 郭磊,徐友春,李克强,等.基于单目视觉的实时测距方法研究[J].中国图象图形学报,2006,11(1): 74-81.
Guo L, Xu Y C, Li K Q, et al. Study on real-time distance detection based on monocular vision technique [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(1): 74-81. (in Chinese)

[6] 吴舟舟,李树广.基于分级边缘间距的实时车牌检测[J].中国图象图形学报,2007,12(2): 315-321.
Wu Z Z, Li S G. Real-time license plate detection based on hierarchical distances between neighboring edge points [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 12(2): 315-321. (in Chinese)

[7] 林广宇.基于嵌入式技术的车载图像监控系统研究[D].西安:长安大学,2009.
Lin G Y. Study on on-board image monitoring system based on embedded technique [D]. Xian: Chang'an University, 2009. (in Chinese)

[8] 王静轩,尹传厉.基于 DSP 和 FPGA 的嵌入式实时图像增强系统[J].液晶与显示,2013,28(1): 459-463.
Wang J X, Yi C L. Embedded color image enhancement system based on DSP and FPGA [J]. *Chinese Journal of*

Liquid Crystals and Displays, 2013, 28(1): 459-463. (in Chinese)

- [9] 张志刚. FPGA 与 SOPC 设计教程—DE2 实践[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2007.
Zhang Z G. *FPGA and SOPC TECHNOLOGY—DE2 Practice* [M]. Xian: Xidian University Press, 2007. (in Chinese)
- [10] 孙之旭, 张传胜. 基于 SOPC 的 TFT 液晶显示屏驱动控制器[J]. 液晶与显示, 2012, 27(2): 212-216.
Sun Z X, Zhang C S. Controller for TFT LCD driver based on SOPC [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(2): 212-216. (in Chinese)
- [11] 张传胜. 基于 SOPC 的通用液晶屏人机交互系统 GUI 的设计[J]. 液晶与显示, 2013, 28(2): 250-254.
Zhang C S. Design of man-machine interaction systems based on LCD screen of SOPC [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 250-254. (in Chinese)
- [12] 原魁, 何文浩, 肖晗. 基于 FPGA 的嵌入式图像处理系统设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
Yuan K, He W H, Xiao H. *Design for Embedded Image Processing on FPGAs* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry Press, 2013. (in Chinese)

作者简介: 刘强(1987—), 男, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事基于 FPGA 的汽车电子研究。E-mail: ziyipiao@163.com