

高速条码识别系统^①

冯万祥¹, 吴锡生¹, 刘栋铨²

¹(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

²(江苏物联网研究发展中心 信息识别与系统控制研究中心, 无锡 214122)

摘要: 针对目前条码识别算法实时性不够的不足, 同时为解决具体应用中定位算法稳定性不高, 景深不够等问题, 提出了一种基于计算机视觉、FPGA 和 DSP 混合设计的条码识别系统, 其高速条码定位算法在 FPGA 上实现, 定位时间仅为 2.5ms, 定位速度快, 同时减少了后续 DSP 的计算量, 大大提高了系统的实时性, 并应用于轮胎条码识别系统. 经实际试验表明, 该系统达到 16 帧每秒的识别速度, 且识别率高, 对高速运动条码信息的在线检测应用具有较好的实用价值.

关键词: 条码识别; FPGA; 在线检测; DSP; 机器视觉

High-Speed Barcode Recognition System

FENG Wan-Xiang¹, WU Xi-Sheng¹, LIU Dong-Cheng²

¹(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

²(Information Identification and System Control Research Center, Jiangsu R&D Center for Internet of Things, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to solve the lack of timeliness in barcode recognition's algorithms, the inadequate stability in the application of locating, the insufficient depth of field and etc., it introduce a mixed designed barcode recognition system based on computational vision, FPGA and DSP, the high-speed locating could be achieved with the locating time of only 2.5 ms, reduces the amount of DSP's computation, greatly enhances the timeliness of system and be applied to the tire barcode Recognition system. Experiments results show the system can recognize 16 frames per second with a high recognition rate, which is of practical value in online detection of rapidly moving barcodes.

Key words: barcode recognition; FPGA; online detection; DSP; machine vision

1 引言

条形码是将宽度不等的多个黑条和空白, 按照一定的编码规则排列, 用以表达一组信息的图形标识符. 目前许多生产企业在产品上标有条形码等永久性符号, 以实现产品质量的管控. 例如一些轮胎企业通过在每个轮胎壁上粘贴 Code128 码, 来标识轮胎的生产场地、生产日期和生产材料等, 实现对轮胎质量的跟踪. 利用计算机视觉技术的条码识别具有非接触性、效率高、真实直观等优点. 目前国内已有一些基于计算机视觉技术的条码识别系统, 但普遍都存在一些问题, 例如系统实时性不强、无法满足在线检测系统的需求; 侧重实验环境, 与工厂实际环境差距大, 无法具体应用

到实际场合; 识别精度差; 无法实现采集与识别的一体化, 系统结构及接口冗杂, 系统的安装、调试和维护困难等. 为克服这些不足, 本文介绍了一种新的视觉检测系统, 实现采集、识别的一体化, 主要解决了如下难题: 1)背景复杂度的影响: 在识别过程中, 待识别轮胎条码周围通常会伴有图形、纹理等无关的背景信息, 这些因素会影响条码在图像中的定位和分割; 2)系统的实时性: 为了满足流水线上的轮胎 1m/s 的高速运动, 需要提高系统的识别速度, 本文算法设计充分利用了 FPGA 和 DSP 各自进行算法处理的优势, 实现算法的协调分工; 3)景深不够: 在实际的轮胎制造中, 有各种种类、大小不同的轮胎, 轮胎的高度也有高有低,

① 基金项目:国家自然科学基金(61373055)

收稿时间:2015-02-15;收到修改稿时间:2015-04-02

最大高度差达到 300mm。为了适应不同高度的轮胎，本系统通过降低光圈，外加补光和通过算法处理，解决了模糊条码识别，大大提高了景深和条码识别率，满足了具体的工程需求，景深可达到 350mm~380mm；4)FPGA 实现条码高速定位，从而克服了目前条码定位算法实时性差、而 FPGA 硬件实现难度大的缺点，在 FPGA 上实现了一种新的条码定位算法，利用硬件电路中流水线和并行化处理的优势，比一般平台速度高 100 倍以上，为后续 DSP 处理节省了时间，提高了在线检测系统的实时性；5)算法稳定性强：对不同样式、外观和大小条码都可准确定位和识别。

2 系统概述

本系统主要由光源控制模块、CCD 图像采集模块、FPGA 时序管理、图像预处理和条码粗定位模块、DSP 识别模块和上位机显示模块等组成。为简化系统复杂度，减轻算法实现难度，通过光电开关来识别同步图像的采集，即每过一个轮胎，光电开关触发一次相机拍摄一系列图片，进行识别处理，并开始等待下一次光电触发信号。这样每个条码只会被识别一次，保证了轮胎与条码的一一对应关系，避免重复识别和误识别所造成的混乱问题，在提高识别效率的同时也降低了系统的能耗。系统结构图如图 1 所示。

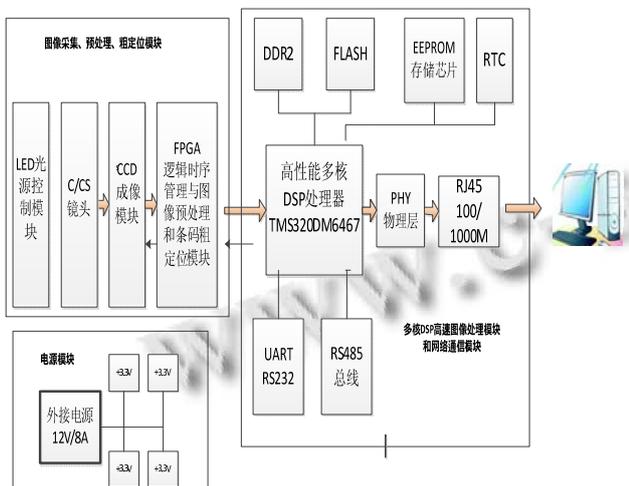


图 1 系统结构图

3 系统设计

3.1 硬件平台

1)光源控制模块：为加大景深，需降低光圈，这样就使采集的图像过暗，因此需外加光源。光源控制模

块主要是驱动补光光源，对光源进行实时控制，达到图像曝光与光源同步；

2)CCD 图像采集模块^[1]：主要由 CCD 感光器件 ICX274、AD 转换芯片构成，负责图像的实时采集；

3)FPGA 时序管理与图像预处理、条码粗定位模块：主要负责 CCD 成像模块的时序控制；图像的采集与传输；图像的曝光、增益等参数控制，图像自动曝光、增强等预处理算法与条码粗定位算法的实现；

4)多核 DSP 高速图像处理模块：采用 TI 的多核 DSP 处理芯片 TMS320DM6467，负责图像算法处理、串口通信、485 总线通信、以太网通信、系统参数配置等功能。

3.2 景深问题

景深^[2]是指在摄影机镜头或其他成像器前沿能够取得清晰图像的成像所测定的被摄物体前后距离范围。为了适应不同种类轮胎的高度差，需要条码机具有至少 300mm 的景深。

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = (2f^2 F \delta L^2) / (f^4 - F^2 \delta^2 L^2) \quad (1)$$

公式(1)中 δ —容许弥散圆直径， F —镜头的拍摄光圈值， f —镜头焦距， L —对焦距离。从公式中可以看出，影响景深的因素有镜头焦距、被拍摄体的距离、光圈的大小等。一般光圈越大景深越小，光圈越小景深越大；镜头焦距越长景深越小、反之景深越大；主体越近，景深越小，主体越远，景深越大。我们通过降低光圈，提高了条码机的景深；同时外加补光来提高光圈小所带来的图片较暗的问题；最后通过自适应的 USM 锐化算法解决了不同轮胎高度带来的条码轻微模糊问题。最终达到了最大能稳定识别景深在 350mm~380mm 范围内的条码。

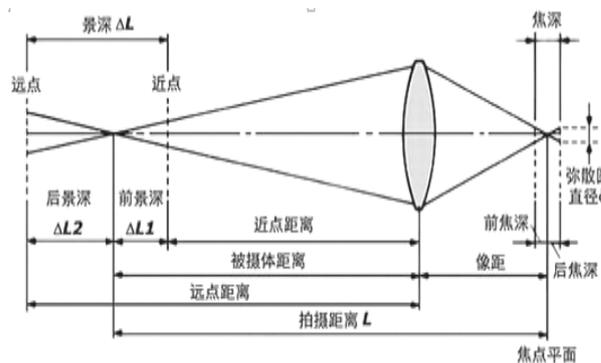


图 2 景深公式示意图

3.3 算法分析

3.3.1 FPGA 条码快速定位方法

在线条码检测系统^[3]无须人工操作,通过流水线上的条码进行自动定位和解码,实现信息的获取;对高速运动中的条码实现定位是在线检测研究的重点.前人提出了很多条码定位算法,文献[4]将灰度图像分成若干个区域,再根据每块灰度图像的梯度特征和角点特征,定位出条码区域;文献[5]提出了高通滤波后二值化的方法和利用形态学开运算的条码定位算法,其对模糊图像和复杂背景的图像具有较好的效果;文献[6]提出了基于机器学习和级联过滤器联立的方法滤除背景区域,结合条码的几何性质检测候选区域,然后利用聚类生长法包络条码区域的定位算法;文献[7,8]提出高斯滤波、底帽变换、形态学运算和连通域相结合的条码定位算法;文献[9]提出采用基于多分辨率的方法,并结合边缘检测、区域分析与 Hough 变换,定位用户码区域的思想;文献[10]提出了一种基于图像连通区域角点特征和边缘特征的提取方法.这些算法各有优缺点,但他们的共同问题是计算量大,实时性不强,FPGA 硬件实现难度大,在流水线检测的应用上存在不足.针对上述问题,介绍了一种在 FPGA 上实现的条码定位算法,首先通过边缘检测、数学形态学处理,将条码部分联通成一个完整的整体,然后滤除掉大部分的干扰信息;再通过对处理后的图像进行正反向像素逐一扫描,并逐个标记处理后的二值图像白色像素点的联通标记值,同时记下每个标记值的四个坐标,最后根据各个联通标记值的四个坐标,求出几个最大联通标记值的坐标以由后续 DSP 处理,该算法在 FPGA 上实现,定位速度快,同时大大减少了后续参与 DSP 运算的像素点数量,提高了系统的实时性.

本系统由 CCD 图像传感器采集图像数据,通过 s dram 缓存一帧图像数据,在下一帧图像帧上升沿到来时,定位该帧图像条码部分的四个坐标,和该帧图像一同由 FPGA 输出,实现条码的粗定位,具体流程如图 2 所示.

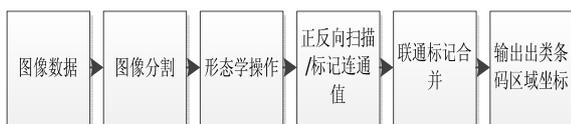


图 3 条码快速定位部分处理流程图

3.3.2 图像分割

针对条码部分纹理细节较多的特点,利用边缘检测^[11]来实现图像边缘的提取,而 sobel 边缘检测算法,思想简单,易于 FPGA 实现,所以文中采用 sobel 算法.在流水线上的条码不可能完全水平和垂直,因此可选择四个方向的 sobel 模板,选取最大值为最终的算子大小.并且为了后续处理中对梯度图像的二值化处理时阈值更容易选择,将原 Sobel 算子中 2 增大到了 6,使求得的梯度图像的对比度更大,如图 3 所示,这时对梯度图像二值化的阈可取得大一点.文中取梯度图像中最大灰度值的 0.7 倍为二值化的阈值,梯度图像中灰度值大于该阈值的置 1,小于该阈值的置 0.这样处理将比白点设为 255,黑点设为 0 的方法,大大节省 FPGA 中的存储空间.利用 ALTERA 提供的双端口 RAM,来缓存图像数据,数据位宽 24 位,深度 2047.每次当行有效信号到来时,图像数据一行一行的进入 RAM, RAM 读数据的高 16 位作为写数据的低 16 位,当前行的图像数据存储在高 8 位,实现缓存三行图像的目的,再用 3*3 的模板对图像数据进行逐个扫描,求出每个像素点的边缘像素值.

-6	1	0
-1	0	1
0	-1	6

0	-1	-6
1	0	-1
6	1	0

1	0	-1
6	0	-6
1	0	-1

1	6	1
0	0	0
-1	-6	-1

图 4 sobel 四个方向模板

3.3.3 形态学处理

完成图像分割后,用一个较小的膨胀模板,将条码部分填充成一个完整的部分^[12].因为在光源较强的环境下,轮胎表面会有反光,同时复杂背景下其他一些边缘信息也会有干扰,再用一个较大的腐蚀模板,滤除掉大部分的干扰边缘信息,这也防止了反光条件下部分靠近条码的干扰信息和条码部分联结在一起;但由于腐蚀模板也会去除部分条码信息,后续在连通域求条码坐标时,需分别把四个条码边界进行外扩操作.

3.3.4 求最大连通标记坐标值

本节处理的主要思想^[13]是逐个扫描处理后图像的

每个像素点,通过正向和反向扫描,逐个标记每一个白色像素点的标记值,同一个联通物体内的像素标记值相同,并同时记下每个标记值的四个坐标,当一幅图像扫描结束时,取出最大联通标记物体的四个坐标值,即为条码部分坐标.本算法的输出目标为最大连通物体在视频图像中的四个坐标值.而图像中每个连通物体的四个坐标值存储在四个坐标值存储器中,分别使用双端口 RAM,位宽 10 位,深度 2K.每一联通物体最终只有唯一的一个坐标值.在逐个扫描像素点、标记每个像素点联通标记值的过程中,由于需要访问当前行和下一行的二值化图像数据以及两行的连通标记值,因此文中使用了两类存储器:即一个二值化图像数据存储器和两个连通标记值存储器.二值化图像数据存储器和两个连通标记值存储器使用双端口 RAM,位宽为 2,深度为 2k,用于循环存储两行二值化数据;两个连通标记值存储器也分别使用双端口 RAM,它们的位宽和深度与坐标值存储器的相同.背景二值化图像最大连通域图像标记算法具体分成五个步骤:正向扫描、反向扫描、合并连通标记、更新当前行连通标记值和求最大连通域的坐标.

正向扫描是根据二值化图像数据当前点与上方点、当前点与右边点的相邻关系,来保证物体右半区域连通标记值一致,并且修改该联通物体的底部和右边坐标值存储器的坐标值;

反向扫描读取当前行的二值化图像数据与当前行的连通标记值,根据二值化图像数据当前点与上方点、当前点与左边点的相邻关系来保证物体左半区域连通标记值一致,并且修改该联通物体的上部和左边坐标值存储器的坐标值,同时进行对比,以识别是否存在新的目标物体,当出现新的目标物体时,连通标记值累加 1;此外还需判断上一行是否有目标物体结束,如果有目标物体结束,则将此目标物体的四个坐标值传递到后续的处理算法中.

合并连通标记:由形态学操作后的像素点排列是不规则的,当出现分叉的凹形联通物体时,上述正反向扫描操作还不能完全判定一个连通标记值,就代表了目标物体的坐标值,有可能出现表 1 所示情况(表中括号外代表像素值,括号内为联通标记值).如出现上述情况,则可知道,虽然是同一个联通物体,但是给它赋予了两个甚至更多的连通标记值,表 1 中像素值为 1 的像素点都属于同一个联通物体,却给了 1 和 2 两个联通标记值,为了消除这种影响,需将要合并的

连通标记值组合,同时记录在三个独立的连通域合并存储器中,并再对这三个存储器进行交互操作,以最终保证当前行连通标

记值等价于最终连通标记值;更新当前行连通标记值是把合并连通标记这一步找到的相同联通标记合并成同一个标记;求最大连通域的坐标:通过比较一幅图片中各个联通标记的坐标值,找到最大几个类条码连通域的坐标,由后续 DSP 处理.

表 1 第一、二步忽略的情况

1(2)	0	1(1)
1(2)	0	1(1)

3.3.5 DSP 精确定位和识别

DSP 算法部分主要完成条码的精确定位和识别,算法流程图如图 5 所示.

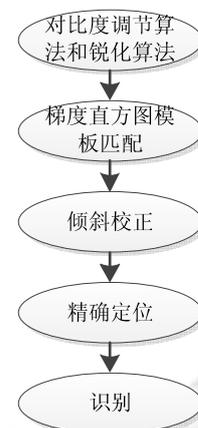


图 5 DSP 算法流程图

由于轮胎的厚度不同,图像中的条码可能会出现一定程度的失焦模糊,同时为了扩大景深,缩小了相机的光圈,条码图像偏暗,因此在为了提高后续条码识别准确率,需对条码图像进行增强处理.采用图像灰度直方图调整的对比度自适应算法来改善条码图像的质量,并使用参数自适应的 USM 锐化算法解决图像模糊问题.在 FPGA 完成粗定位后,一般筛选出来的面积最大的区域,即为条码区域;但是考虑到一些具有复杂背景干扰的情况,如图像中出现大量文字的干扰和大面积反光的情况;则经过 FPGA 处理后的最大面积区域可能不是条码区域;但文字部分和反光部分其梯度的方向分布比较杂乱,而条码区域的梯度方向比较一致,基本集中在与条码方向平行的角度附近,因此可以用梯度直方图模板匹配的方式来排除文字、反光等

上,且算法思想复杂,在定位的过程中需要进行大量的运算,不适合使用 FPGA 硬件进行高速处理,所以在流水线实时处理的应用中,上述算法存在瓶颈.条码的精确定位和识别算法写入 DM6467 多核 DSP 芯片中,兼顾了系统的稳定性和实时性,经过实验表明,本文条码识别算法克服了一般条码识别算法耗时长,无法纠错的缺点,基本能达到 100% 的识别通过率.甚至条码被部分遮盖,算法也能给出正确识别结果.

5 结语

本文克服了目前条码定位算法实时性差, FPGA 硬件实现难度大等缺点,在 FPGA 上实现了条码快速定位,该方法利用硬件电路中流水线和并行化处理的优势^[15],比一般平台速度高 100 倍以上,为后续的解码节省了时间,完全符合在线检测系统实时性高的要求;同时利用条码部分梯度方向分布特点,克服了大量文字干扰和反光等复杂背景干扰的情况,最终筛选出唯一条码区域;文中还利用条码梯度方向与霍夫变换相结合的方法,克服了倾斜校正不准的问题.该系统达到 16 帧每秒的识别速度,且识别率高,本文介绍的条码识别系统实现图像采集、处理的一体化,利用 FPGA、DSP 实现算法各自的优势,分工协调,兼顾算法稳定性和实时性,克服了具体工程应用中,景深不够、条码偏暗、失焦模糊等问题,对在线检测的具体应用具有较好的参考价值.

参考文献

- 1 刘栋铖.工业检测中的线阵 CCD 相机系统设计与研究[硕士学位论文].南京:南京理工大学,2013.
- 2 王清英.景深公式的推导.南阳师范学院学报(自然科学版),2003,2(3):24-26.
- 3 原魁,肖晗,何文浩.采用 FPGA 的机器视觉系统发展现状与趋势.计算机工程与应用,2010,46(36):1-6.
- 4 王霞玲,吕岳,文颖.复杂背景和非均匀光照环境下的条码自动定位和识别.智能系统学报,2010,5(1):35-40.
- 5 张万鹏,谢松云,姜官祥,何华兵,王潇.复杂背景中模糊条形码的定位.国外电子测量技术,2012,31(10):75-79.
- 6 王伟,何卫平,雷蕾,林清松.复杂金属背景下二维条码区域的快速定位.天津大学学报,2013,46(6):531-538.
- 7 Katona M, Nyul, LG. A novel method for accurate and efficient barcode detection with morphological operations. 2012 Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS). IEEE. 2012. 307-314.
- 8 Katona M, Nyul LG. Efficient 1D and 2D barcode detection using mathematical morphology. Mathematical Morphology and its Applications to Signal and Image Processing. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 464-475.
- 9 张君,周卫平,舒华忠.基于多分辨率的水表用户码定位与识别.软件:2013,34(3):131-133.
- 10 陈文艺,陈蓓敏.基于复杂背景的二维条码提取技术.西安邮电大学学报,2014,19(2):48-51.
- 11 冈萨雷斯,伍兹.数字图像处理.第 3 版.阮秋琦,等译.北京:电子工业出版社,2011.
- 12 崔屹.图象处理与分析数学形态学方法及应用.北京:科学出版社,2006.
- 13 喻鹏.基于 SOPC 的虾仁色选图像处理系统设计[学位论文].南京:南京理工大学,2012.
- 14 李春鹏.基于 TMS320C6713B 浮点 DSP 的二维条形码识别系统设计和实现[学位论文].天津:天津大学.2010.
- 15 贝利.基于 FPGA 的嵌入式图像处理系统设计.原魁,何文浩,肖晗,译.北京:电子工业出版社,2013.