

基于 DSP 交通标志识别系统的设计与实现

王永平, 史美萍, 吴涛, 靳霖霖

(国防科技大学 自动化研究所, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 该文以 DM642 为硬件开发平台, 在 CCS 软件开发环境下, 实现了交通标志自动识别系统的设计。针对交通标志的检测定位环节, 实现了一种将交通标志先验特征与机器学习算法相融合的智能检测方法; 针对交通标志的识别环节, 提出了一种改进的模板匹配算法。该方法利用置信度判别准则增强了系统的可靠性; 结合序列图像关联信息, 提出了一种基于直方图 Bhattacharyya 距离的判定法, 排除了识别目标由于受遮挡、抖动产生的模糊等干扰因素, 从而提高了系统的实时性和鲁棒性。

关 键 词: DM642, 交通标志, 置信度, 模板匹配, Bhattacharyya 距离;

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

The Design and Realization of Traffic Sign Recognition System Based on DM642

WANG Yong-ping, SHI Mei-ping, WU Tao, JIN Lin-lin

(Institute of Automation, National University of Defense Technology, ChangSha 410073, China)

Abstract: An traffic sign recognition system under the CCS environment based on DM642 is designed in this paper. In the detection stage, the paper comes true a intelligent speed limit sign detection method that combines the priori characteristics of the traffic sign and machine learning algorithm. In the recognition stage, the paper proposed a kind of improved template matching algorithm, At the same time, the system's reliability was improved smartly through using a principle which can evaluate it. The algorithm uses a novel method called the recognition method used Bhattacharyya distance which is based on the information between the video images.

Key words: DM642; traffic sign recognition; system reliability; template matching; Bhattacharyya distance

1 引 言

交通标志识别系统是辅助驾驶系统的重要组成部分, 它可以减轻驾驶员疲劳、帮助驾驶员提前预防并避免碰撞。对于交通标志的识别问题, 国内外学者已经取得了一定成果, 可分为: 统计识别方法、神经网络识别方法、句法识别、集成识别方法等^[1], 它们各具特色, 但受由于诸如交通标志模糊、受遮挡、颜色几何失真等其它因素的干扰也存在不足, 如算法的检测率不高; 受光照影响较大; 算法的计算量大, 不能满足实时性的要求等。目前基本上是基于 PC 的系统占据市场, 应用范围有限, 具有移动能力的识别系统比较少。因此要求交通标志识别系统要有更高的快速性、稳定性、可靠性和实用性。

本文实现的系统旨在以 DM642 图像处理平台为硬件环境, 在 CCS 的软件开发环境下, 将图像采集、交通标志检测与识别和结果输出集成到一个系统中, 它是一种具备价格低、体积小、速度快且易

于携带等一系列优点的系统。

2 系统总体设计与实现

2.1 TMS320DM642 DSP 芯片的特点

TMS320DM642 是 TI 公司推出的一款多媒体处理 DSP 芯片, 具有强大的性能。DM642 在 TMS320C64x 基础上增加许多外设接口的一款 C6000 系列的定点运算芯片。它采用高级 VelociTi 体系结构, 适合于做数字媒体应用。它的 CPU 时钟频率最高为 720MHz, 此时其最大的运算能力可达 5760MIPS^[2]。同时, 它具有容量为 4M×64 位的外部动态存储器 SDRAM, 片内 RAM 支持快速存储数据, 从而使得实现实时的交通标志识别系统成为可能。

2.2 系统硬件构成

基金项目: 国家自然科学基金 (the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90820302, 90820015)。

作者简介: 王永平(1984—), 男, 内蒙古包头市人, 国防科技大学硕士生, 研究方向为图像处理、模式识别; 史美萍 (1968—), 女, 山西阳城人, 博士, 国防科技大学副教授, 硕士生导师; 吴涛(1975—), 男, 湖北荆州人, 博士, 国防科技大学副教授, 硕士生导师; 靳霖霖 (1983—), 男, 陕西西安人, 国防科技大学硕士生。

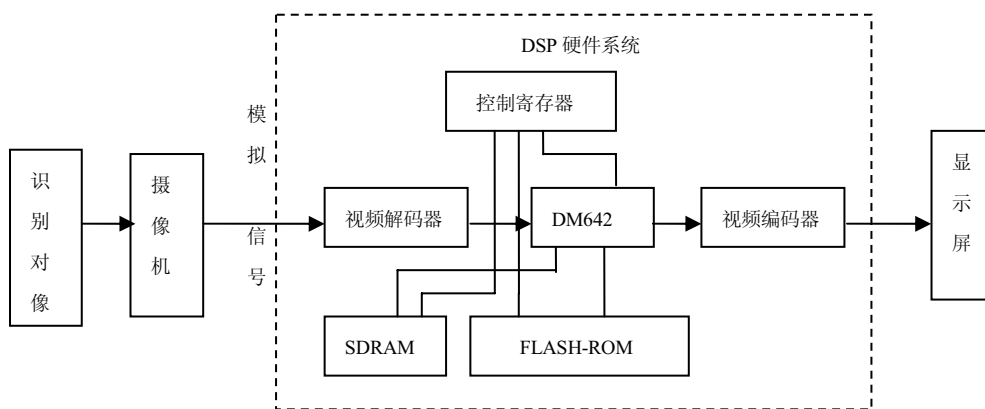


图 1 基于 DSP 限速标志识别系统结构框图

Fig.1 The frame chart of the speed limited sign recognition system based on DSP

基于 DSP 限速标志的识别系统主要由图像采集、图像数据存储、图像数据处理、结果输出等几个部分组成。具体工作过程是:在系统上电以后,从 Flash 加载程序,并进行系统初始化工作,主要完成芯片初始化、外围硬件配置等工作,然后由 CCD 摄像机获取模拟视频信号,模拟视频信号经视频解码器转换为数字信号,在得到一帧视频图像数据后由 EDMA 传输到动态存储器 SDRAM,图像大小为 720×576 , DM642 通过访问 SDRAM 中的图像数据,依照相应的图像处理程序开始对数据进行处理,处理完成后的图像数据临时存贮在输出缓冲区 SDRAM, DM642 视频输出接口通过 EDMA 从输出缓冲区取得数据后输出到视频编码器将其转换成标准电视信号进行图像显示。交通标志识别系统结构框图如图 1 所示。

3 软件设计与实现

本文针对自然场景中交通标志的识别问题,充

分利用我国限速标志的红色外圈、白底、黑字等颜色信息和几何特征,结合 Adaboost 算法设计了一种颜色滤波器^[3],并在此基础上使用基于梯度信息的 Hough 变换圆检测方法^[4]提取出实景图像中的交通标志;然后采用改进的模板匹配算法实现交通标志的识别,同时提出一种置信度判别准则可对系统的可靠性进行评估。系统工作的具体流程如图 2 所示。

3.1 图像预处理

图像在形成、传输或变换过程中,由于车辆与交通标志的相对运动、拍摄头的抖动、及受光照和其它多种干扰噪声因素的影响,往往会与原始图像之间产生了某种差异,这种差异称为降质或退化。这种现象影响到系统的识别率和准确性,对整个识别系统构成了极大的挑战。因此在图像处理之前必须进行预处理,包括去除噪音,边界增强,增加亮度等,以提高图像的质量。具体方法这里就不再赘述。

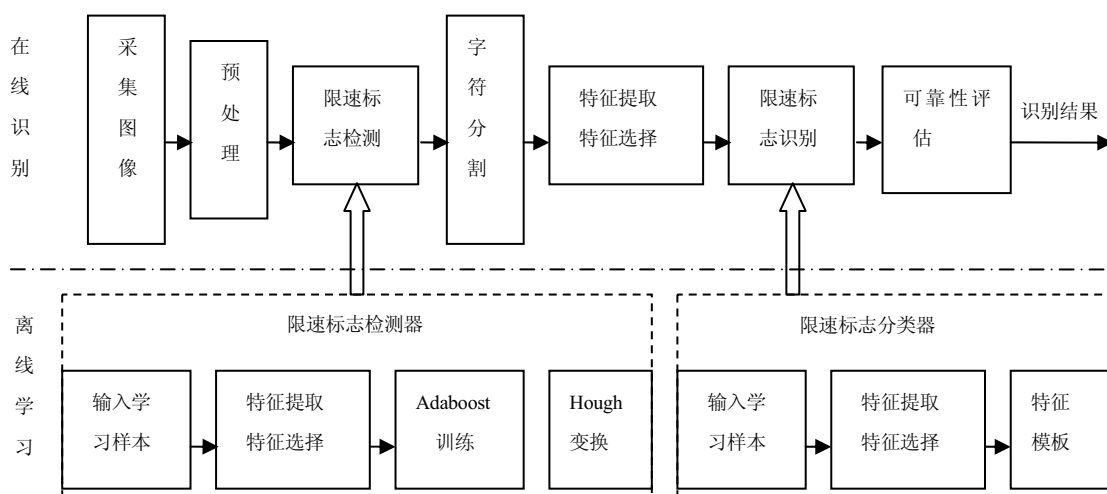


图 2 限速标志识别软件流程图

Fig.2 The flown chart of the speed limited sign recognition system

3.2 限速标志检测算法

根据 Lab 颜色空间对光照的不敏感性和对红色像素具有较好的聚类特性^[5],本文将获取的彩色图像由 RGB 空间转化到 Lab 空间;然后利用 AdaBoost 算法构建了基于圆覆盖的交通标志红色像素滤波器,并以此为基础对图像进行二值化;最后采用基于梯度的 Hough 变换圆检测方法来检测图像中的圆和椭圆区域,实现限速标志的准确定位。实验效果如图 3(b)所示。图 3(a)为自然条件下拍摄的限速标志原图。

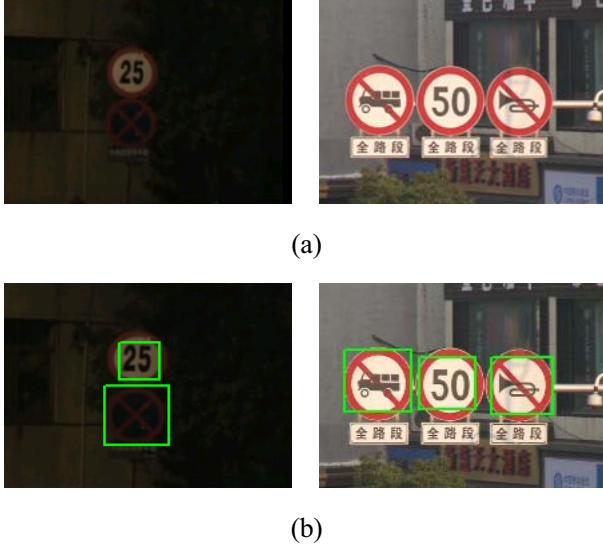


图 3 交通标志检测定位结果

Fig.3 The detection results of the traffic signs

3.3 限速标志识别算法

本文采用模板匹配算法进行限速标志字符识别,而传统的模板匹配算法具有可靠性不足、实时性差等缺点。针对这些问题,首先使用一种字符识别的置信度判别准则,并在此基础上引入序列图像关联信息,提出基于直方图 Bhattacharyya 距离的判定法对模板匹配算法的实时性、鲁棒性等作了改进。

3.3.1 字符分割

对检测到的限速标志图像进行直方图均衡化、对比度增强、二值化、中值滤波等预处理,然后采用区域生长法进行字符分割以突出限速交通标志的数字字符,之后,选用最近邻插值方式对字符归一化为 20×40 , 单位为像素。

3.3.2 特征提取

在实验中,对每一个归一化为 20×40 大小的数字平均分为 25 个网格,即 4×8 的小区域,提取其每个网格对应的像素密度特征。特征表示如下:

$$f_j = \frac{\text{第 } j \text{ 个网格的黑色像素总数}}{4 \times 8}, j = 1, 2, \dots, 25 \quad (1)$$

其中, f_j 表示第 j 个像素密度特征。

3.3.3 基于欧氏距离的最小距离分类器

最小距离分类器是一种简单的基于向量空间模型的有效分类方法,相对于最大相似度算法、k-最邻近算法等,最小距离分类器的速度优势明显,经常被选择应用在有实时要求的系统中^[6]。本文在对限速标志字符识别的算法中使用了一种基于欧氏距离的最小距离分类器。

假设 I 表示字符样本图像, R 表示待识别字符图像,待识别的字符共有 m 个类别,它们分别为

C_1, C_2, \dots, C_m , 各类别的代表字符样本的特征向量分

别为 F_1, F_2, \dots, F_m , 从待识别字符图像提取的特征向量为 X 。则按计算特征向量 X 与各类别的代表样本的特征向量之间的距离如下:

$$D_i = \sqrt{(X - F_i)^T (X - F_i)} \quad (2)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

如果 $D_k = \min\{D_i\}$, $i = 1, 2, \dots, m$

则 $X_k \in D_k$, $k = 1, 2, \dots, m$

3.3.4 基于直方图 Bhattacharyya 距离的判定法

限速标志序列图像为行进中车辆上的摄影机连续拍摄的,在一定的时间范围内的限速标志属于同一类限速标志,因此,相邻帧间检测到的限速标志相似度很大,前一帧与后一帧具有丰富的关联信息,通过这种图像前后帧之间的关联性,可以解决由于某帧限速标志字符受到暂时的遮挡,或者由于抖动而产生图像模糊等情况下的字符识别问题,类似人脸检测算法中的跟踪问题。

在本文中,根据序列图像的特性分析,提出了一种基于直方图 Bhattacharyya 距离的判定法,具体方法如下所述:

首先计算后一帧图像限速标志检测结果与前一帧图像限速标志检测结果归一化后的直方图的 Bhattacharyya 距离:

$$d(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \sum_i \sqrt{H_1(i) \cdot H_2(i)}} \quad (3)$$

如果 $d(H_1, H_2) < th_d$, 则认为前后帧应具有相同

表 1 数字特征编码器
Tab.1 Coder of Digital Character

特征/类别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	α
上过线数	2	1	1, 2	1	1	1	1	1	2	2	0.1
X 轴过线数	2	1	1	1	1, 2	1	1, 2	1	1	1, 2	0.1
下过线数	2	1	1	1, 2	1	1, 2	2	1	2	1	0.1
左过线数	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	0.05
Y 轴过线数	2	1	3	2, 3	2	3	2	2	3	2	0.1
右过线数	2	1	2	2	1	3	2	1	2	1	0.05
上横线	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0.1
下横线	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0.1
左竖线	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.1
右竖线	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0.1
孔洞数	1	0	0	0	0, 1	0	1	0	2	1	0.1

的识别结果，在识别系统中具体表现为后一帧直接输出前一帧的识别结果。在公式 3 中， H_1 表示前一帧图像检测结果归一化后的直方图， H_2 表示后一帧图像检测结果归一化后的直方图； $d(H_1, H_2)$ 表示二者之间的 Bhattacharyya 距离； th_d 是表示前后帧是否为同一识别限速标志的阈值，在本文中 $th_d = 0.2$ 。

3.3.5 置信度判别准则

对归一化后的字符提取如表 1 所示横线特征、竖线特征、水平方向过线数和垂直方向过线数及孔洞数共 11 种特征^[7]。根据各自特征的可靠性程度，分别赋予不同的权值，可依据下列公式计算出该字符的置信度：

$$P = \sum_{i=0}^{10} \alpha_i f_i \quad (4)$$

其中， i 表示特征的次序， α 表示各个特征的权值， f 表示特征值，如果满足编码器的特征则取 1，否则取 0， P 表示待识别字符的置信度，

即模板匹配算法识别出的字符的可靠性。

3.3.6 改进的模板匹配算法

模板匹配是图像识别方法中最具代表性的基本方法之一，基本思路是把待识别图像与标准模板进行匹配计算其相似度，取相似度最大者为输入模式所属类别，但传统模板匹配算法存在诸如抗干扰性差、实时性不理想等缺点。

本文根据采用传统模板匹配算法存在的不足对其作了改进，具体思路是：首先建立样本模板；然后对检测到的结果进行字符分割并提取上述 25 像素密度特征；利用欧氏距离的大小来衡量限速标志字符与模板字符之间的匹配程度并依据匹配程度最高的模板字符给出初步识别结果；对初步识别结果计算置信度 P ，根据 P 值的大小决定是否输出识别结果；同时，系统计算通过计算下一帧图像检测结果与上一帧图像检测结果归一化后的颜色直方图的 Bhattacharyya 距离 $D(H_1, H_2)$ ，引入序列图像相关信息，提高系统实时性。算法实现的具体流程图如图 4 所示。

4 交通标志识别系统的 DSP 实现

虽然 DM642 有丰富的内部资源和很强的运算性能，但是 DSP 系统与 PC 机还是有区别。例如主

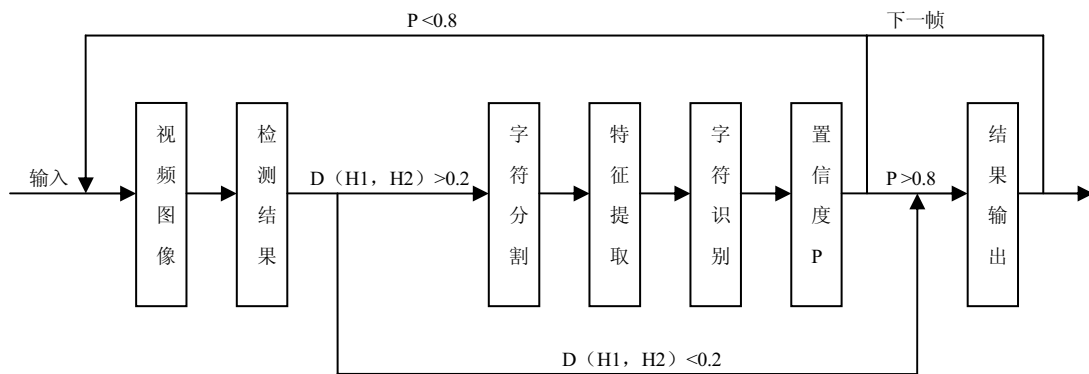


图 4 改进的模板匹配算法流程图

Fig.4 The flow chart of improved template algorithm

频较低、内存较小等等，这些都影响着交通标志识别的速度。因此，我们需要针对 DSP 系统的特点，充分利用资源和并行机制对识别软件进行优化，使之满足应用的要求。具体说来，本文从以下几个方面展开：

- 1) 循环指令优化。循环体是程序中耗时最长的，优化时重点放在循环体上。当循环体较小时，可以把多个循环的代码写在一个循环体里，从而增加指令的并行性。
- 2) 使用逻辑运算代替乘除运算。用只占用一个周期的移位操作来代替占用周期较长的乘除操作，可以减少内存操作，提高编译器的优化效率。
- 3) 充分利用 C6000 系列 DSP 的超长指令字特点，尽可能用多位的指令来访问少位的数据。如：使用 int 型(32 位)访问 2 个 short (16 位)型数据，将其分别放在 32 位寄存器的高 16 位和低 16 位字段。这样数据读取效率可以提高 1 倍。从而减少内存访问次数。
- 4) 合理使用存储空间。DSP 对片内寄存器和 RAM 的访问速度比片外快很多，因此合理地配置和使用存储空间，对系统整体效率影响很大，尽可能地将访问频繁的代码段和常数表放入片内 RAM。访问片外数据时，将数据从片外数据存储器读到片内，程序执行时直接从片内调用相应的数据，大大提高程序的运行速度。

5 实验结果及其分析

为了对限速标志识别系统性能进行评估和验证算法的有效性，本文分别选取了自然场景下拍摄的各种条件下的静态图像和视频序列图像进行了实验。

5.1 单帧图像识别结果及其分析

如图 5 所示，图像中矩形框内为限速标志检测结果；右边为经过预处理之后的字符分割以及字符识别显示结果。第一幅为晚上在光线昏暗的情况下拍摄的，第二幅图像中限速标志带有一定程度的旋转，特别是数字字符，旋转角度很明显。但由图可以看出，在实验中取得了较好的效果。说明本文的识别算法对于光线、旋转等其它因素具有较好的鲁棒性。



图 5 限速标志识别结果

Fig.5 The results of the recognition system

5.2 序列图像识别结果及其分析

在内存 512M，处理器为 P4，主频为 1.83GHz 的台式机下使用 1000 幅不同场景下的视频序列图像利用本文识别算法得到系统各项技术指标如表 2 所示。

表 2 识别系统技术指标统计结果

Tab.2 The statistics of the recognition system

指标 图像	识别率	误识率	拒识率	识别速度
正常条件下图像 (700 幅)	98.6 %	0.1 %	1.3 %	10f/sec
恶劣条件下图像 (300 幅)	91.1 %	0.2 %	8.7 %	7f/sec

通过表中的数据可以发现：

(1) 识别算法可靠性高。通过数据可以看出本文算法的误识率较低，而在交通标志识别系统中，可靠性是其是否能够用于实际产品最重要的因素，因为它直接关系到生命财产安全。

(2) 识别速度理想。本文算法对于正常条件下限速标志图像的识别速度达到 10f/sec，而对于个别恶劣条件下图像的识别速度也达到 7f/sec，已经基本能够满足系统实时性的要求。

(3) 识别率理想。由表中数据可以计算出，本文对于所有拍摄的实验图像的整体识别率在 96% 左右，取得了较好的效果，能够满足应用的需要。

将本算法移植到 DSP 平台上的识别速度大约为 2f/sec。上述结果表明：本文的算法具有较好的可靠性、鲁棒性和实时性。

6 结束语

本文针对交通标志的识别问题，设计了一种切实可行的算法，从交通标志检测和识别两个环节对以往的算法作了改进；同时充分发挥了 DM642 强大的运算功能和良好的实时性，集成了图像的采集、识别、存储及数据处理的功能；使用 CCS 中对 C 程序的做了优化，从而将该算法成功移植到 DSP 上，在运行时大大缩短了执行时间，并使得性能有了大幅度的提高，同时系统易于升级，算法也可更新，具有较高的实用价值。美中不足的是本文的识别对象比较单一，这是今后工作的重点和需要拓展的方向。

参考文献(References):

- [1] 张航. 自然场景下的交通标志识别算法研究[D]. 博士学位论文, 2006. 7.
- [2] 北京合众达电子. SEED-VPM642 用户指南. 2005. 4.
- [3] 王永平, 史美萍, 吴涛. 一种快速鲁棒的交通标志检测方法[J]. 计算机工程与应用, 已发表.
- [4] 王小华, 谢君廷, 李本伍. 一种新的基于梯度方向角的圆检测算法[J]. 机电工程, 2008, 25(3):30-32.
- [5] Luis David Lopez, Olac Fuentes. Color-Based Road

Sign Detection and Tracking[J]. Computer Science Department University of Texas, El Paso 79902, USA.

- [6] 宫淑兰. 手写数字识别的研究与应用[D]. 山东大学, 硕士学位论文, 2006. 8. 28.
- [7] LIU Jianhua, NIU Qinzhou, CHENG Xiaohui, WANG Yong. Feature-Based Printed Numerals' Recognition System[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2005, 25(1):101-103.