

# 嵌入式汽车轮胎规格号快速识别系统

黄战华, 杨基春, 朱 猛, 张尹馨

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

**摘 要:** 针对汽车轮胎生产线检测的智能化管理问题, 提出一种嵌入式系统以对轮胎规格号进行快速识别。对图像进行预处理, 包括极坐标变换、双线性插值拉伸, 利用大津法进行二值化, 以连通域方法来提取规格号字符。采用基于统计的方法抽取轮廓特征进行规格号模式识别。系统硬件部分采用高速 TMS320C6000 系列 DSP 为核心的嵌入式硬件系统, 使用参数预存储、软件流水线技术及双缓冲内存分配等优化方法。实验结果表明, 该系统能快速有效地识别汽车轮胎规格号。

**关键词:** 数字信号处理器; 连通域; 轮胎规格号

## Embedded System of Fast Recognition of Car Tire Size Code

HUANG Zhan-hua, YANG Ji-chun, ZHU Meng, ZHANG Yin-xin

(College of Precision Instrument and Opto-Electronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

**【Abstract】** For Intelligent management of car tire production line, a method of fast recognition of car tire size code which combining a drop-in hardware system is presented. Tire image is preprocessed including polar transformation, bilinear interpolation stretching and Da-Jing Method to preprocess tire image, segments specifications by connective region. Outline features of size code is extracted based on statistical methods to recognize tire size code. In the drop-in hardware system, TMS320C6000 DSP is applied to realize this algorithm, program can be executed quickly by using methods such as soft assembly line, parameter storage and two-buffer memory allocation technology. Experimental result shows that the system method meets the needs of fast recognition of car tire size code.

**【Key words】** Digital Signal Processor(DSP); connective region; tire size code

### 1 概述

轮胎规格号是指生产厂家在轮胎胎侧印制的代表特定意义的字符, 字符信息一般包括轮胎类型、轮胎半径、轮胎断面的宽度、轮胎的扁平比、载重指数、生产日期、产地、生产序列号等参数, 这些参数对于某种类型的轮胎是唯一的, 也称为轮胎的规格号。国内还没有汽车轮胎规格号识别技术的相关报导, 目前国外针对 DOT 码和规格号识别的一个比较成熟的技术是线激光扫描成像识别, 但是该系统成本较高。

轮胎规格号识别是基于图像处理技术的一种计算机智能识别方法<sup>[1]</sup>, 其研究结果有利于轮胎工厂生产的智能化管理<sup>[2-3]</sup>。轮胎规格号是在轮胎硫化过程中由铝字模印在车胎橡胶侧面而成型, 由于铝牌自身很薄且不是很平整, 当轮胎硫化时, 可能会使字符表面并不十分平整, 另外由于规格号字符与周围背景材料均为黑色橡胶, 因此在 LED 灯阵列照射情况下, 得到的轮胎规格号区域一般呈现对比度低、噪声大的特点。

### 2 轮胎图像预处理

#### 2.1 图像变换和二值化

轮胎照明采用 LED 阵列作为光源, 图像采集用大小为  $2048 \times 1536$  面元 CMOS, 镜头采用一般的工业用镜头。采集到的图像如图 1 所示, 轮胎是圆形结构, 其侧面的字符一般沿轮胎的径向分布, 字符落在环形区域上, 这样一种分布对规格号区域的判断以及分割都造成较大的困难, 利用极坐标变换可改变字符环形分布结构。由于规格号字符上边缘和下边缘半径不一样, 因此在坐标变化过程中, 必须进行插值,

采取双线性插值可降低在插值过程中造成的像素损失。随后, 用大津法对图像进行二值化, 处理结果如图 2 所示。

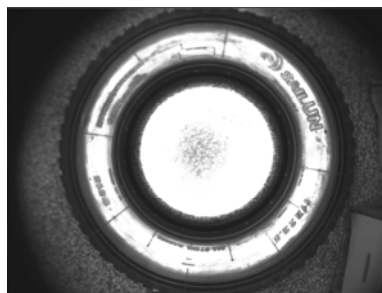


图 1 汽车轮胎原图像

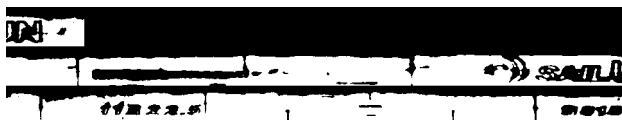


图 2 原图的处理结果

以轮胎圆心为坐标变换原点, 轮胎内外径之差作为变换后的图像高度, 以极坐标的总分角度作为变换后的图像宽度, 分布在 4 个象限进行变换, 极坐标变换公式为

**作者简介:** 黄战华(1965 - ), 男, 教授、博士生导师, 主研方向: 非均匀介质成像光学理论与技术, 光电图像处理与模式识别, 光电子信息技术, 多媒体计算机应用与控制; 杨基春、朱 猛、张尹馨, 博士研究生

**收稿日期:** 2009-06-17 **E-mail:** jichunyang\_gan@yahoo.com.cn

$$i_0 = \pm i \times \sin(\alpha) + x_0 \quad (1)$$

$$j_0 = \pm i \times \cos(\alpha) + y_0 \quad (2)$$

其中,  $i$  是变换后的图像纵坐标;  $i_0$  和  $j_0$  是原轮胎图像坐标;  $x_0$  和  $y_0$  为轮胎圆心坐标。

## 2.2 规格号字符分割

规格号分割分为 3 步: (1) 利用连通域方法提取图像所有的连通域<sup>[4]</sup>; (2) 依据先验知识设定规格号的宽高范围, 将不符合条件的区域滤除; (3) 采用欧式距离进行空间聚类, 依据轮胎规格号在空间距离上连续分布这一特点, 可进一步滤除虚假区域, 获取真实的规格号区域。分割结果如图 3 所示。



图 3 利用连通域分割出来的规格号

## 3 规格号模式识别

### 3.1 规格号特征提取

特征提取是规格号模式识别中的一个关键问题, 对于印刷体数字的特征提取, 目前已有许多方法<sup>[5-6]</sup>, 比如反映结构信息的拓扑特征、几何特征、压缩特征、矩特征等; 反映笔画信息的投影特征、轮廓特征、边界特征等。本文针对轮胎规格号成像不清晰、数字凹凸分布规律、不同厂家的铝制模板数字形体不一等特点, 抽取包含轮胎规格号的主要信息的轮廓特征。

#### 3.1.1 轮廓特征提取

本文将规格号在水平和垂直方向上各分割为  $N$  段, 分别从规格号外轮廓的上下左右 4 个方向抽取特征, 这些特征不仅包含了字符轮廓的直线特征, 也包含了字符外轮廓的曲线特征:

(1) 规格号左侧特征, 从左到右扫描时, 第 1 次遇到  $f(i, j) = 1$  时的游程, 对每段总游程进行平均, 即

$$L_{nm} = \frac{\sum_{i=0}^{j=m \times h/N} f(i, j)}{(h/N)}; \quad m=1, 2, \dots, N; \quad n=1$$

(2) 规格号右侧特征, 从右到左扫描时, 第 1 次遇到  $f(i, j) = 1$  时的游程, 对每段总游程进行平均, 即

$$L_{nm} = \frac{\sum_{i=w-1, j=0}^{j=m \times h/N} f(i, j)}{(h/N)}; \quad m=1, 2, \dots, N; \quad n=2$$

(3) 规格号上部特征, 从上往下扫描时, 第 1 次遇到  $f(i, j) = 1$  时的游程, 对每段总游程进行平均, 即

$$L_{nm} = \frac{\sum_{i=0, j=0}^{i=m \times w/N} f(i, j)}{(w/N)}; \quad m=1, 2, \dots, N; \quad n=3$$

(4) 规格号下部特征, 从下往上扫描时, 第 1 次遇到  $f(i, j) = 1$  时的游程, 对每段总游程进行平均, 即

$$L_{nm} = \frac{\sum_{i=0, j=h-1}^{i=m \times w/N} f(i, j)}{(w/N)}; \quad m=1, 2, \dots, N; \quad n=4$$

#### 3.1.2 轮廓凹凸性

规格号字符结构由直线和曲线构成, 其规则更多的由曲线来表达, 曲线的凹凸性特征反映了字符结构, 本文利用规格号相邻轮廓特征来定义规格号外轮廓左右不同部分的斜率:

$$k_{nm} = \frac{L_{nm} - L_{n(m+1)}}{h/N}$$

或:

$$k_{nm} = \frac{L_{nm} - L_{n(m+1)}}{w/N}$$

其中,  $m=1, 2, \dots, N-1; n=1, 2, 3, 4$ 。

因此, 得到各个相邻段部分的倾斜角:

$$\alpha = \arctan(k_{nm}) \times 180/\pi$$

其中,  $m=1, 2, \dots, N-1; n=1, 2, 3, 4$ 。

#### 3.1.3 特征编码

规格号轮廓特征经抽取后进行编码, 得到游程特征  $4N$  位编码序列, 对于轮廓游程特征  $L_{nm}$ , 设定阈值  $L1, L2$ , 当  $L > L1$ , 相应的特征编码值为 1,  $L_{nm} < L2$ , 特征编码为 0,  $L_{nm}$  在  $L1$  和  $L2$  之间, 则特征编码值为 2, 定义:

$$X_i = A_{i1} \cdots A_{ij} \cdots A_{4N}$$

$$A_{ij} = \begin{cases} 1 & L > L1 \\ 2 & L2 < L < L1 \\ 0 & L < L2 \end{cases}$$

其中,  $X_i$  为抽取的第  $i$  个规格号游程特征编码, 前  $2N$  位表示左右两侧的游程编码。

同样, 得到描述规格号的凹凸性  $4(N-1)$  位编码序列, 设定倾斜角阈值  $\alpha1, \alpha2$ , 当  $\alpha > \alpha1$ , 斜率特征编码为 1,  $\alpha < \alpha2$ , 特征编码为 0, 在  $\alpha1, \alpha2$  之间, 特征编码值为 2, 定义:

$$Y_i = B_{i1} \cdots B_{ij} \cdots B_{4(N-1)}$$

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & \alpha > \alpha1 \\ 2 & \alpha2 < \alpha < \alpha1 \\ 0 & \alpha < \alpha2 \end{cases}$$

其中,  $Y_i$  为抽取的第  $i$  个规格号倾斜角编码序列, 前  $2(N-1)$  位表示左右两侧的相邻段倾斜角编码。

## 3.2 规格号特征识别

### 3.2.1 相似度的计算

不同轮胎生产厂家的铝模的规格形态并不一样, 在模压过程中亦会产生字符边缘轻微变形, 而且, 规格号与背景颜色一样, 通过 CCD 采集到的字符较为模糊, 因此, 很难用标准模板对其进行模式匹配, 本文根据工厂观察到的规格号模式形状, 结合实验条件, 定义待识字符和训练样本的轮廓特征基元类型序列分别为

$$f_i^x = X_i^x Y_i^x, \quad f_j^s = X_j^s Y_j^s$$

其中,  $i=1, 2, \dots, M$ ,  $M$  为待识轮胎规格号个数;  $j=1, 2, \dots, 10$ , 为规格号训练样本。则类型匹配成功必须满足:  $f_i^x = f_j^s$  或  $f_i^x / f_j^s = \Delta$ ,  $\Delta$  为置信度。

考虑到规格号数字的结构特点, 本文分别抽取游程特征编码  $X_i$  的前  $2N$  位和倾斜角编码序列  $Y_i$  的前  $2(N-1)$  位来进行特征匹配, 定义:

$$Sim(f_i) = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^{2N} Sim(X_{ij}) \times w_{xj} + \frac{1}{2(N-1)} \sum_{j=1}^{2(N-1)} Sim(Y_{ij}) \times w_{yj}$$

其中,  $w_{xj}, w_{yj}$  是由特征类型决定的权值, 由实验训练中获得,  $Sim(X_i), Sim(Y_i)$  是外轮廓游程和外轮廓倾斜角的相似度, 按照此规则, 有:

$$Sim(X_{ij}) = A_{ij}^x \& A_{kj}^s = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

$$Sim(Y_{ij}) = B_{ij}^x \& B_{kj}^s = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

其中,  $k=1, 2, \dots, 10$ 。

### 3.2.2 识别与拒识准则

由上面的讨论可获得待识规格号与每类样本的相似度, 记为  $Sim(f_{i0}), Sim(f_{i1}), \dots, Sim(f_{i10})$ 。设它们中的最大值和次大

值为  $Sim(f_{C1}), Sim(f_{C2})$ ，按以下方法识别或拒识：

- (1)若  $Sim(f_{C1}) < 0.55$ ，则拒识，称为第 1 类拒识。
- (2)若  $(1-Sim(f_{C2}))/((1-Sim(f_{C1}))) < 2$ ，则拒识，称为第 2 类拒识。
- (3)其余识别结果  $f_{C1}$ 。

第 1 类拒识说明待识规格号与给定样本的相似度都很小。这种情况主要由 2 种因素造成：

- (1)特征相似度计算的权值设定引起的问题。
- (2)待识规格号本身模糊度过大，或由于杂物等引起的噪声太大，以致在该类数字的给定样本集中找不到结构与其相似或相同的样本。

若分类器给出的结果是第 2 类拒识，则说明待识规格号与 2 类样本都比较相像。因此，对于此类规格号，需要更多的特征来进一步区分，本文采取的方法是在上一步识别的基础上，计算抽取的规格号的上下轮廓以及斜率特征与样本的相似度来完成二次识别。

#### 4 硬件系统组成

本系统硬件部分采用 TI 公司最新的数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 芯片 TMS320C64XX DSP 作为处理核心，系统的框图如图 4 所示。

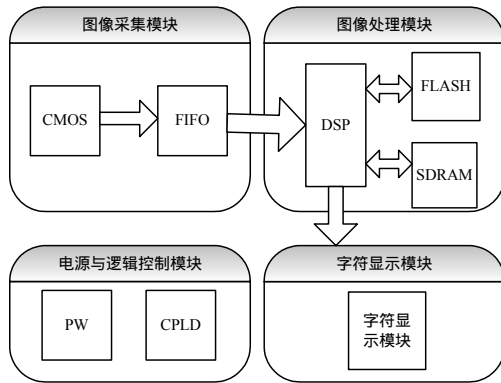


图 4 汽车轮胎字符实时识别系统原理

系统主要分为轮胎图像采集模块、图像处理识别核心模块、图像显示输出模块以及电源与逻辑控制模块 4 个部分。在图像采集模块中，CMOS 图像传感器得到的图像分辨率达  $2048 \times 1536$ 。图像处理模块采用 TMS320C6415 作为处理计算核心，50 MHz 晶体振荡源，PLL 电路采用 12 倍频方式，使得主频达到 600 MHz，它与高深度大缓存的 FIFO 及时钟频率达 100 MHz 以上的 SDRAM 一起负责大数据量的图像处理；FLASH 存储主程序，系统启动后自动调入 DSP 中运行。图像显示输出模块把数字图像处理结果输出到显示设备上。电源与逻辑控制模块通过 CPLD 控制传感器和系统的启动顺序，来降低系统的功耗并减少电路噪声。

#### 5 实验结果与分析

##### 5.1 实验结果

已被分割好的规格号字符如图 5 所示。本文使用其作为模型匹配的标准样本，轮廓在垂直方向分段，与通过 COMS 成像采集后处理的规格号进行模式匹配。



图 5 标准样本规格号

标准样本特征编码和待识规格号的左右轮廓的游程和倾斜角编码序列如表 1 所示。

表 1 样本特征和待识别规格号轮廓和倾斜角编码

规格号	标准样本	待识规格号
	(取左右轮廓特征)	(取左右轮廓特征)
1	10012111211102211011	11012111111102111011
1	10012111111102211011	11022111121002111001
R	02110102122221021111	02110112122221221110
2	101101101120222111110	10010110110212211112
2	100101101120222111112	100102101122102111102
5	122110211122022111111	11211011122122111011

对左右两侧的特征进行匹配，结果如表 2 所示。

表 2 待识别规格号特征与标准样本部分特征的匹配率及识别率

规格号	特征匹配率						识别率/(%)
	1	1	R	2	2	5	
1	0.67	0.67	0.28	0.22	0.22	0.33	100
1	0.78	0.78	0.17	0.22	0.22	0.33	100
R	0.17	0.17	0.38	0.33	0.22	0.44	拒识
2	0.33	0.33	0.22	0.67	0.67	0.44	100
2	0.33	0.22	0.26	0.67	0.67	0.50	100
5	0.28	0.33	0.44	0.44	0.56	0.78	50

待识字符被识别如果满足识别条件 3，则认为该规格号被识别；满足拒识条件 1，拒识；满足拒识条件 2，则加入上下 2 个部分的特征进行 2 次匹配。模式匹配结果如表 3 所示，本文中置信度  $\lambda$  取 0.55。

表 3 待识别规格号特征与标准样本全部特征的匹配率及识别率

规格号	特征匹配率						识别率/(%)
	1	1	R	2	2	5	
1	0.63	0.72	0.17	0.33	0.38	0.22	100
1	0.56	0.56	0.22	0.33	0.33	0.33	100
R	0.22	0.28	0.50	0.38	0.33	0.38	拒识
2	0.33	0.33	0.28	0.67	0.67	0.44	100
2	0.17	0.22	0.33	0.83	0.67	0.44	100
5	0.22	0.28	0.44	0.33	0.22	0.56	100

可以看出，多数规格号数字是可以一次性识别的，个别的规格号需要二次识别，但是，由于轮胎规格号本身较为模糊，对于拒识字符，以及匹配度上都有很大影响，因此在大规模识别过程中，不可避免地会带来误识和拒识，这个问题的解决依靠系统分辨率的提高和硬件噪声的消除。

##### 5.2 硬件系统处理性能分析

在硬件系统中，本文采取了几个方法来提高系统效率：dsp6415 是定点运算，在 FLASH 中首先存储极坐标变换需要的正弦余弦值，程序启动后参数由 FLASH 传输到 SDRAM，极坐标变换需要的三角函数直接寻址就可得到；SDRAM 和 DSP 之间的数据传输采用 EDMA 方式；样本特征预先存储在 FLASH 中，模式匹配前将参数从 FLASH 直接调入 SDRAM。

在 C 平台下开发算法实现功能后，需要对程序进行线性汇编优化，dsp6415 在一个 CPU 周期内最多能够执行 8 条指令，利用 DSP 的循环寄存器和多加法器乘法器的特性可以大大提高效率，优化后的结果如表 4 所示。

表 4 字符识别硬件系统的性能

算法	处理时间/ms
极坐标变换	321.02
字符提取	201.82
模式识别	30.68

在没有改进算法之前，系统运行时间达数十秒，通过对比算法的精心改进，得到了良好的结果。复杂处理的三角函数计算经过改进，时间仅需 300 ms 左右，规格号识别系统处理时间在 1 s 以下，完全满足工厂生产线的实时性需求。

(下转第 234 页)