

# 机动车辆自动识别系统\*

黄爱民 陈万里

(国防科技大学自动控制系 长沙 410073)

**摘要** 基于视觉的机动车辆自动识别方法工程量小、检测范围大、系统安装相对灵活,是一种很有前途的方法。目前已开发的商业系统大都用在日间辅助交通管理上。为改善视觉交通检测系统的实用性和增强系统的功能,本文作者对模型系统进行了深入的理论研究,提出了 2.5 维图像的新思路,提取车辆外形的轮廓和特征更为准确,自适应识别方案使车型识别准确灵活,车头颜色特征的利用使识别的准确性进一步提高。实验证明,系统对光线的适应能力也明显增强,系统的稳定性得到改善,有望扩大系统的使用范围。

**关键词** 视频图像, 机动车辆, 2.5 维时空图象, 彩色特征及特征分析, 车辆几何特征及特征提取, 车辆自动识别

分类号 TP274.5 TP391.4

## Automatic Automobile Image Recognition System

Huang Aiming Chen Wanli

(Department of Automatic Control, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** Video based vehicle detecting system is a profitable way in an intelligent automobile/highway controlling system and traffic monitoring system. It is possible to have a large detection area and a flexible installation way. To improve the usability of the video-based real-time intelligent traffic monitoring system, a new idea by using 2.5 dimensions time-space image has been introduced. First, color changing and intensity transforming should modify images. Second, more features of objects including length, width, and fuzzy height information can be extracted by object's shape analysis. Thirdly, a supervised learning method using a neuro-network realizes a self-adaptive recognition system. Then combined with the color information it can give a more accurate result. All the improvement endows the system with a desirable performance.

**Key words** automobile, video-based image, 2.5 dimensions time-space image, color feature and feature selection, automobile's feature selection and extraction, automatic vehicle recognition

## 1 简介

基于计算机视觉的机动车辆自动检测和识别方法不需要改造路面,可检测较大的范围,系统的实施也灵活,并可最大限度地利用原有的电视监控系统,是一种很有前途的方法。我国已引进的用于交通管理的视觉检测商用系统价格昂贵,功能弱,若想用于路桥收费管理,系统除了保持实时性外,还必须提高适应性、增强功能,即系统在不同的时间(一年的四季,一天的早、中、晚,阴影、灯光的变化),不同的气候(晴、雨、雪、雾)条件下必须工作稳定,系统不仅要完成车辆计数和车速测量工作,还要按车型进行分类,为自动收费和车辆管理提供依据。

针对以上三点要求,作者在理论分析的基础上,已经针对路桥收费站口建立了一个模型系统,并进行了大量的现场实验。系统的特点是建立一个 2.5 维时空图像,获取车辆的外形和色彩特征,通过对体

\* 1998年6月23日修订

第一作者:黄爱民,女,1968年生,讲师

表轮廓信息的分析来实现车型的自动分类。本方法的特点是,利用车辆的颜色特征、车体外形变化的几何特征进行车辆的分割,获取车辆外轮廓特征;使用神经网络对外轮廓特征进行分析,实现自适应模式识别功能

系统的特点首先是处理速度快,充分利用硬件资源,只处理为完成目标所需的最少的信息,即利用专用图像板进行图像采集,所有特征提取都在感兴趣窗口(AOI)内进行,神经网络在特征级进行识别,因而数据量相对少,完全满足实时性的要求。其次,系统的鲁棒性和分类功能大大提高。图像特征分析在RGB彩色基或HS彩色基上进行均可,可进行图像灰度校正、彩色信息辅助分析,从而克服光照变化的影响,提高车辆分割及特征提取的准确性。提取出的车体外侧形状变化信息中含有较明显的车辆宽度和长度信息,隐含有车头高度、车尾高度,以及它们的变化规律,较充分地反映了车辆外形特点。本算法最终并不需要计算车辆的长、宽、高,而是充分利用神经网络处理模糊信息的能力,获得更为稳定和准确的结果。当然,这也是该方法与众不同之处。

## 2 车辆特征提取

### 2.1 移动目标分割

考虑到收费站现场环境、实际实施的可能性以及信息的完备性、可用性,将摄像机安装在收费亭顶棚上,面向车头(图1),从车辆侧前上方获取车辆的综合图像信息。摄像机的摇移、推拉、俯仰(pan/zoom/tilt)角度在调整完毕后必须固定,以保持检测参数的相对不变;但自动光圈需打开,这样可以一定程度地适应天气的变化。

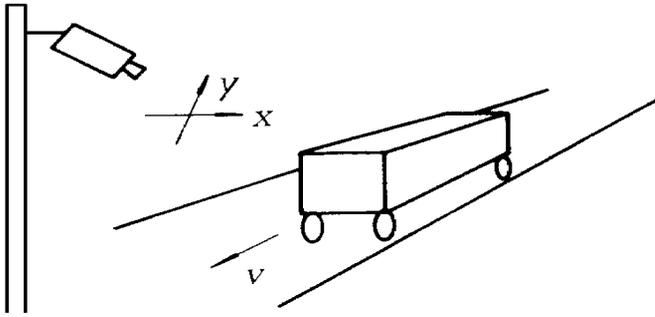


图1 摄像机安装

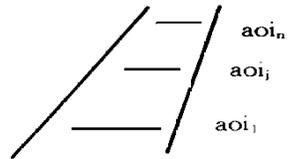


图2 感兴趣区域AOI的设计

收费站的环境与高速公路不同,车辆行驶非匀速,道口通行时间相差很大,因而设计多AOI方案,使系统受车速影响尽量小。为提高处理速度,移动目标分割只限制在感兴趣区域(AOI)内进行。区域设置如图2所示,各区域沿车道走向平行展开,与图像水平轴方向平行,区域的数目可依问题的复杂程度确定,但区域的数目越多,相当于采样率越大,信息的完备性越好。

由于该系统的应用中,背景环境确定,可采用差分法提取图像中的变化部分,即用当前图像减去最近邻的背景图像,变化部分为待识别图像。此方法受速度变化影响较小,识别速度快。

变化区域性质的判断则需综合多方面知识,如同一区域灰度的均匀性、区域的连续性、不同区域间灰度的突变性,以及车辆和阴影模型。

车辆模型:规定车辆的最小宽度与长度以及最小车间距,有助于车辆区域的检测,并剔除行人以及摩托车等非收费机动车辆的干扰。

灰度的均匀性:阴影区域亮度都低于背景,且基本均匀,边缘较中心稍亮,灰度是连续变化的。车体区域灰度变化与车体颜色的单调性相关,无统一特征。

区域的连续性:阴影区域在水平和垂直方向都有一定的宽度范围,车体区域由于灰度变化无均匀性特征,可能由多个连续区域构成。

区域的突变性:不同性质的区域间是有明显变化的,检测梯度变化,可以获得区域边界,获得车辆的外形变化规律。

阴影模型: 阴影区域的走向与太阳以及其它光源的位置有关, 在环境确定之后, 基于检测区域的每天不同时刻的太阳和路灯的位置, 可以获得简单的阴影模型, 提高区域分割的准确性

轮廓的连续性: 车辆外轮廓以及车体由于颜色差异造成的内部纹理, 都上下相关, 具有连续性

车头的颜色: 客车的体表颜色相对丰富, 对识别的帮助不大, 而货车的车头基本保持颜色一致, 通过计算车头的颜色, 可辅助有疑义的车型的分析。

移动目标分割算法:

设图像信息为 HS 制式, 前景图像为 Q, 背景图像为 B, 变化部分为 O,  $(x, y)$  为当前处理象素点的坐标。以下工作只在 AOI 内进行。

1) 获取图像变化信息

$$OI = FP(Q \downarrow BI)$$

$$OH = FP(QH, BH)$$

$$OS = FP(QS, BS)$$

$$O = F(OI, OH, OS)$$

$FP()$ ,  $F()$  为根据实验效果可调整的算子, 使 O 对颜色、灰度的变化都较敏感。FP() 建议算法如下:

$$(1) FP(X, Y) = |X - Y|$$

$$(2) FP(X, Y) = X - Y$$

F() 建议算法如下:

$$(1) F(X, Y, Z) = X + Y + Z$$

$$(2) F(X, Y, Z) = \max(X, Y, Z)$$

$$(3) F(X, Y, Z) = \max(|X|, |Y|, |Z|)$$

2) 区域分割

(1) 阴影区域剔除

满足以下两条件即为阴影区域:

$$(1) O_i > \text{THRESHOLD}, \&\& QI < BI, QH = BH, QS = BS;$$

$$(2) \text{EDGE}(O_i) \leq 2 \&\& \text{EDGE}(O_{i-1}) \leq 2$$

EDGE 是计算 AOI 内 Y 方向边缘数目的算子。边缘增强可用任何有方向性的高通滤波器实现。

(2) 车辆分割

若  $O_i < \text{THRESHOLD} \&\& O_{i-1} < \text{THRESHOLD}$ , 则当前待分析区域结束。

## 2.2 光照变化自适应处理

变化多端的室外环境如气候、天气、时间、背景、水渍、阴影等, 都会使图像的特征发生很大的变化, 给正确的识别和处理带来隐患。由于太阳光基本满足颜色恒定的条件, 这些变化可归结为光强的变化, 通过采用自动光圈摄像机, 软件上采用实时更新背影的策略, 白天基本可拥有一个较好的工作环境。但摄像机的自动光圈调整由光学器件完成, 具有惯性, 还需另外设计光线定标区, 及时调整光圈突变对目标分析带来的影响。

通常获取的彩色图像的特征是用三基色 R、G、B 来表示的, 但彩色的这三种特征值与光照强度成递增关系, 使目标信息不稳定。参看图 3 所示的三维空间纺锤体表示出颜色的三个基本特性, 在一定的条件下, 彩色满足颜色的恒常性, 即一个物体的颜色是由光线在物体上被反射和被吸收的情况来决定的, 同时又受光源条件的影响。但颜色在照明只改变强度 (I) 时, 仍保持恒常性, 即色调 (H) 和饱和度 (S) 不会有太大的变化。室外光线近似满足这一条件, 因此可将原始信息转换成 HSI 格式, 利用 H、S 的相对不变性来更为可靠地分割图像。图像板将 RGB 实时转换成 HS 时, 先将 R、G、B 信号转换成色差信号  $(-R - Y)$ ,  $(-B - Y)$  与照度信号 (Y), 再利用输出查找表实现非线性变换, 转换成 HSI 信号。

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$$

$$R - Y = 0.500 \times R - 0.419 \times G - 0.081 \times B$$

$$B - Y = -0.169 \times R - 0.331 \times G + 0.500 \times B$$

(1)

$$\begin{aligned}
 H &= \arctan\left(\frac{B - Y}{R - Y}\right) \\
 I &= Y \\
 S &= \frac{Y}{\sqrt{(R - Y)^2 + (B - Y)^2}}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

本处的 RGB到 HSI的转化考虑硬件实现的可能性,与典型定义略有区别,但实质一致

理想情况下,底图(背景图像)会得到及时更换(利用更换背景图像的算法可自动实现),无车区域的灰度也将保持稳定。但自动光圈摄像机是根据视场中的平均亮度进行光圈调整,因此车体的反光性差异将引起光圈调整,使图像整体灰度提高或下降。又由于机械和光学部件反映的迟滞性,对后续车辆也会造成不良影响。因此需要对图像灰度进行校正。

设图像中的参考点为 P,参考点的背景灰度为 PBI,参考点的前景灰度为 PQI,则参考点的灰度变化为:

$$DP = PQI - PBI \tag{3}$$

根据光学成像系统的特点,在动态范围内基本为线性光线,因而图像的灰度变化量应与图像原来的灰度成正比,即

$$DI = K \times I \tag{4}$$

因此,校正系数为:

$$K = DP / PBI \tag{5}$$

图像上各处的校正量为

$$D = K \times BI \tag{6}$$

校正后图像的灰度特征为

$$DQI = QI - D \tag{7}$$

由公式(2)可知,光强的校正不影响 H,但对 S 有影响,建议形成 0 时不要引入 S 分量。

对 RGB系统也可完成此功能,计算出校正系数后,将变化量分配到各成分:

$$\begin{aligned}
 DR &= K \times BR \\
 DG &= K \times BG \\
 DB &= K \times BB
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

校正后的图像彩色特征为

$$\begin{aligned}
 DQR &= QR - DR \\
 DQG &= QG - DG \\
 DQB &= QB - DB
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

## 2.3 车辆特征的提取

为提取车辆尽量可靠的外形特征,将摄像机安装在侧前方(参见图 1),并处理各 AOI 的信息,获取车体在每一 AOI 内边界的相对位置,车体边界相互间的关系及整体的形态变化由神经网络分析。算法如下:

- 1 对 AOI 进行分析,检测有无变化。若有,转 2 否则延时,再重复 1;
- 2 检测变化性质,若为阴影,转 1;
- 3 进行车辆分割。分析有效区域的长度,设可能有目标区域数为  $length_i$ ;
- 4 利用侧向阴影模型,在  $1 \sim length_i$  个窗口内进行边界分析,确定更为准确的长度信息;
- 5 获取边界参数,将 AOI 得到的左右边界坐标  $left_x[i]$   $right_x[i]$  进行规一化 ( $[-1, +1]$ ) 处理, AOI 中点为零点;
- 6 后续区域为无目标区域,特征参数均赋 0;
- 7 依固定次序保存特征向量 X, X 的长度为 N ( $N = 2n$ ), 构成方式如下:

$$X = (left_x[1], left_x[2], \dots, left_x[n], right_x[1], right_x[2], \dots, right_x[n]),$$

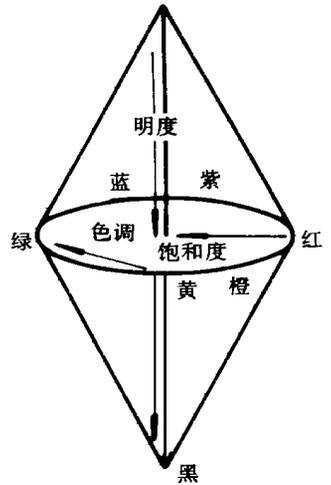


图 3 简单色立体模型

此向量或用于构造样本集, 或用于识别车型。

以上方法最终获取的特征是车体诸多信息的综和, 隐含有车头的宽度、车头的高度、车身的长度、车身的相对形状。由于信息的冗余量大, 既有助于正确的识别, 又具有良好的容错性。

## 2.4 背景更新

为了使系统适应真实的室外变化的光线环境, 提高图像分割准确性, 必须对背景图像进行实时更新。本系统中只需更新各 AOI 内的图像内容, 提高处理速度。

(1) AOI 检测有车辆通过, 则不更新背景; 否则转 2

(2) 检测实时图像与背景图像的线性关系。通过分析差值图像的均值 (avg)、方差 (conv) 进行判断。

如果

$$\text{avg}(i) <= 0 \text{ and } \text{conv}(i) < \text{thred\_conv}, i = 1, 2, \dots, n$$

或者

$$\text{avg}(i) >= 0 \text{ and } \text{conv}(i) < \text{thred\_conv}, i = 1, 2, \dots, n$$

则更新背景, 否则不更新背景。上式中 thred\_conv 为适当方差阈值

## 2.5 车辆颜色的分析

现场实验发现, 一些特种车辆易出现误判, 它们在外形上并无明显的特质, 却具有与众不同的颜色, 因而在某些类别中辅以车头颜色信息, 可提高识别率。

(1) 计算车头部各 AOI 中间区域的平均  $I$ 、 $H$ 、 $S$  值;

(2) 如果车型类别的置信度较低, 则转 3

(3) 如果  $I$  大于灰度阈值, 则根据  $H$ 、 $S$  分析特殊颜色类别

## 3 车辆分类

由于本系统中各 AOI 提取的特征是数值性的、模糊的, 正可利用神经网络的优势, 对模糊信息进行自适应学习, 自动提取、跟踪其中的有效信息, 避免繁杂的分析与计算。实验中是利用前向多层人工神经网络, 采用反传学习算法 (又称逆推学习算法, 简称 BP 算法), 使用误差最小平方和原则。反传学习过程原理图如图 4 网络中结点作用函数选择 S 型函数,  $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ 。S 型函数比较接近人脑神经元的输入-输出特性, 具有较好的仿生效果。网络的输出形式、隐含层数目以及各隐含层的节点数目由问题的复杂性决定。

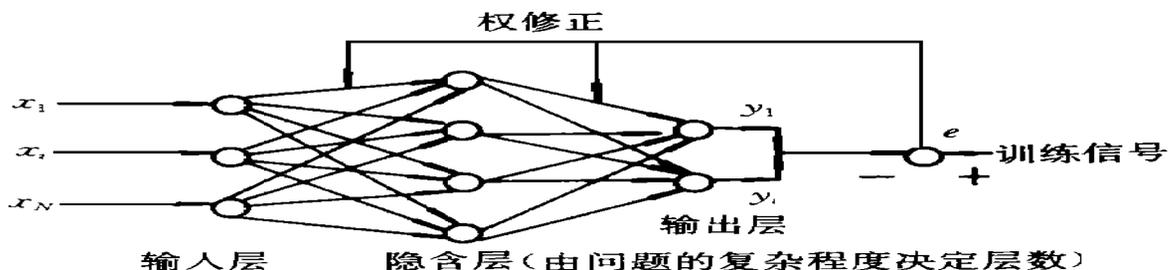


图 4 前向多层人工神经网络构成及 BP 算法原理

这种识别方案与传统的方法有明显区别, 它更类似人类识别车型的方式。它利用车辆的整体映象分析, 避免了立体视觉方法左右视图匹配的困难以及参数估计较大的误差, 也避免了序列图像的结果与车速相关性大的缺陷, 对收费站前出现的动静态目标都有较好的结果。当车型分类标准发生变化时, 只需对训练样本集进行修改, 重新规定输出矩阵的维数, 因而系统的可维护性也很好。

在自动识别前, 必须先人工指定初始背景图像, 对各种车辆进行人工分类以获取样本集, 并进行训练得到 BP 网的网络参数和权值参数, 这需要花费较多的时间。但在线识别时, 以主频 133 的奔腾机为例, 网络识别时间少于 0.1s (秒) (三隐含层, 每层最多 50 个节点)。若车道一分钟内最多通行 5 辆车 (实际收费速度限制), 扣除通讯费用, 平均每车识别至少有 10s 的时间, 足可满足实时要求。

在系统完善阶段,为了提高训练速度,采用单层的函数链接网络对识别分法进行了改进 其基本思想是将原输入加到网络之前,先通过一函数链路进行某种非线性变换,如图 5所示 由此将每一输入分量能过函数链路变换为一系列线性独立函数  $f_0(O_k), f_1(O_k), \dots, f_n(O_k)$ 。从而将原输入的空间维数变为独立函数的高空间维数 这样,新的信息表达空间扩展了,使单层网络具有分辨复杂模式的能力。函数扩展模式中采用外积模式输入样本的每一分量乘以整个输入向量 这一过程好象两个向量相乘产生外积一样。在外积模型中,集合  $\{x_i\}$ 可被扩展为

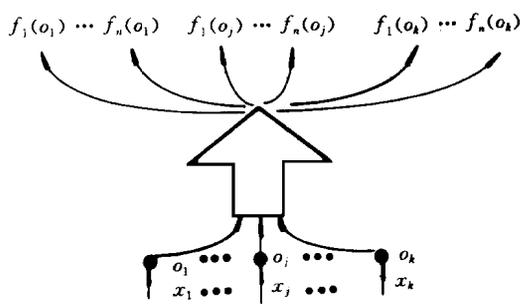


图 5 函数链接网络的外积模型

$\{x_i, x_i x_j\}, \geq i$  或  $\{x_i, x_i x_j, x_i x_j x_k\}, \geq i, k \geq i, \geq i$  即通过如下变换:

$$\{x_i\} \Rightarrow \{x_i, x_i x_j\} \Rightarrow \{x_i, x_i x_j, x_i x_j x_k\} \Rightarrow \dots$$

虽然这种处理方式没有引入新的外部信息,但模式之间的关系表达得到增强,网络的结构得到简化,收敛速度明显加快,分类功能也得到加强

### 4 实验

系统的配置为 586级微机,主频 133M, IC-PCI专用图像处理板,该图像板可实现实时 RGB图像到HSI图像的转换,一套系统对应一指定车道

本系统按某收费站要求设计为将客货车分成三类(按吨位或座位数),已进行了大量的实验。实验结果表明,各季节白天准确性很好,现场实验准确性在 94%以上,路口通畅时准确度很高,塞车时易出现误判 由于进行了灰度校正和色差图像增强,稳定性良好,对早晚的光线变化不敏感,对各个季节也可自动适应。

系统对气候的变化较敏感,小雨天工作良好,大雨时略有下降(能见度较高时)在雾天、雪天以及晚上识别率急剧下降。其原因是图像的质量太差,而普通的摄像机是不能满足全天候工作要求的。通过红外摄像机实验,在雾天和晚间有明显的改善,说明算法还是可行的。

### 5 结论

通过大量的实验照明,该系统是可行的,测试性能基本满足协作单位要求,目前已进入试运行。

该系统与其它视觉车辆检测系统的明显不同:一是图像处理方式不同,使检测到的车辆信息更为丰富完善稳定;二是车辆的识别方式灵活,可修改性、可扩充性都很好;三是进行了信息融合,颜色信息和几何特征的结合,进一步提高了识别率。只要摄像机的性能得到重大改善,能保障低照度条件下图像的质量,基于视频图像的机动车辆自动识别系统还是具有广阔的应用前景的。

### 参考文献

- 殷勤业等,模式识别与神经网络.北京机械工业出版社
- 清华大学信电系.视觉交通监测系统报告.1996
- Takatoo, M., et al Traffic flow measuring system using image processing 1989 SPIE 1197 172-180
- Simens P lessey Controls Limited ARTEM IS automatic road traffic monitoring information system. 1994
- 鲍立威等,关于 BP模型的缺陷的讨论.模式识别与人工智能,1995 18(1): 1- 4
- 姜沿平,路桥收费系统车型分类及其运行管理模式.公路交通科技,1996,13(1): 32- 39
- 陈万里,基于视觉的路桥收费系统中车辆识别的研究: [硕士学位论文], 1998