

# 交通信号灯状态判别

周强

(上海宝信软件股份有限公司, 上海 201203)

**摘要:**介绍了机动车违章闯红灯视频自动监测系统的基本原理和实现框架,分析了其中的关键技术,并提出了一个视频交通信号灯状态判别模型以解决交通信号灯状态判别这个关键问题。该模型在闯红灯视频自动监测系统中得到应用。实际结果表明该模型准确、可靠、实用、鲁棒性强。

**关键词:**智能交通 违章自动监测系统 信号灯状态判别

近20年来,随着社会经济的不断发展,城市交通情况的急剧恶化,智能交通在理论和实践上都得到了发展,以期实现缓解交通拥挤、减少交通事故、降低运输成本、减轻环境影响、提高运输效率的目标,从而建立起安全、便捷、高效、舒适、环保的智能型综合运输体系<sup>[1]</sup>。

中国国内交通安全问题甚为严峻,截至2004年底,中美汽车保有量比率为1:16,而道路交通事故死亡比率却为35:1,并且,中国交通安全事故的主要特点是受害者中行人、骑车者比例大<sup>[2]</sup>。因而有必要安装机动车违章自动监测系统,尤其是机动车违章闯红灯自动监测系统(俗称闯红灯电子警察)。

## 1 闯红灯视频自动监测系统的提出

图1所示为当前常用闯红灯自动监测系统的结构。作为系统的输入,视频采集模块进行视频采集,由线圈信号指示出有无车辆,信号灯信号指示出当前是否是红灯。闯红灯判断及处理模块在确定有车辆闯红灯的情况下,拍摄并保存相关证据。违章数据管理模块对拍摄的违章数据进行管理。通过远程传送,本地的违章数据可以传到交管中心,交管中心通过违章处罚后台管理子系统对违章车辆做出相应的处罚。

作为系统的核心,闯红灯判断模块直接决定系统的准确性、鲁棒性及成本。当前应用最广的闯红灯自动监测系统,其闯红灯判断模块主要工作方式为:(1)由环线线圈判断有无车辆经过。(2)由信号机给出当前是否是红灯的信号。该类系统需要开挖路面及从信号机引信号,安装及维护成本较高,影响路面质量及交通,同时信号机故障还会造成误判,导致“冤假错案”<sup>[3]</sup>。

因此产生了对闯红灯视频自动监测系统的需求。在该类系统中,通过实时视频采集、实时视频图像处理,由

视频处理软件判断有无车辆通过及当前是否红灯,从而判断有无车辆闯红灯。

闯红灯视频自动监测系统具有如下优点:

(1)直接从视频录像检测有无车辆通过,安装维护简便,不破坏路面,不额外增加其他交通设施,不影响交通。

(2)通过视频录像判断当前信号灯状态,完全与信号机隔离,便于安装、维护和故障检修。并且闯红灯视频自动监测系统很容易从一个路口拆除,安装到另一个地方(只需在软件中重新设置相关参数即可)。

(3)因为视频图像里的信号灯状态与人眼所见一致,当信号机出现故障时,信号灯状态判别模型能够识别其故障状态,避免“冤假错案”的发生。

闯红灯视频自动监测系统的核心和难点为视频车辆检测和视频交通信号灯状态判别两个模块,这两个模块直接决定了系统的准确性和鲁棒性。视频车辆检测和视频交通信号灯状态判别两大技术难点的根源在于:视频录像设备工作于室外,将会遭受各种各样的干扰,从而对视频图像产生较大影响。这就要求相应的车辆检测模型和交通信号灯状态判别模型能够自适应,具有足够的鲁棒性,在各种环境中都能正常工作。

但由于交通现象复杂,车辆检测及交通信号灯状态判别的准确性及鲁棒性有待提高,因而当前实际应用较少。本文提出了一个视频交通信号灯状态判别模型,以解决视频自动监测的关键问题——交通信号灯状态判别。该模型应用在闯红灯视频自动监测系统中,判断结果实时、准确。

## 2 交通信号灯状态判别模型

由于该模型将用于违章自动监测系统,模型判别结果的准确性在很大程度上决定了整个系统的实用性,因此需要开发一个基于视频处理技术、能自适应、鲁棒性强并且实用的信号灯状态判别模型。下面先分析对象的特性,进而阐述判别模型的基本思

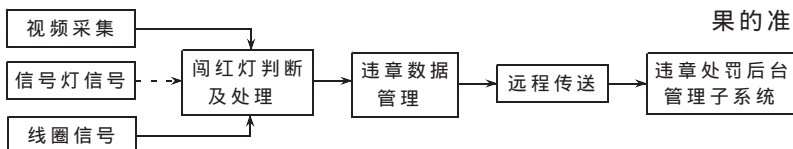


图1 闯红灯自动监测系统结构

想和具体实现。

## 2.1 对象特性分析

对于每一帧视频录像,选取信号灯区域 A,其中,  $A = \{p_i | i=1, 2, K, N\}$ , 共 N 个像素点,  $C_i = (r_i, g_i, b_i)$ ,  $r_i, g_i, b_i$  分别为像素点  $p_i$  的 RGB 分量。

本文定义该帧颜色特征向量 SV 为:

$$SV = \sum_{i=1}^N a_i C_i / \sum_{i=1}^N a_i \quad (1)$$

其中,  $a_i = \begin{cases} 0.5 & \text{如果 } p_i \text{ 位于灯边缘位置} \\ 1 & \text{如果 } p_i \text{ 位于灯中间位置} \end{cases}$

颜色特征向量表征了该帧指定灯的平均 RGB 值。分析录像数据的颜色特征向量,可以发现:

(1) 当灯亮时 RGB 值较高,而灯灭时 RGB 值较低。

(2) 各路口灯亮灯灭时相互间的颜色特征向量有很大的差异,一路口灯灭时的颜色特征向量可能高于另一路口亮时的颜色特征向量。

(3) 同一路口,即便同是灯亮或者灯灭,其颜色特征向量也会发生很大的变动,使得当前灯灭时的颜色特征向量可能高于之前亮时的颜色特征向量。这将要求识别模型具有非常强的自适应功能。

(4) 当风力较大时,由于摄像头角度和红灯的相对位置可能产生临时变化,导致红灯在画面中的位置发生变化。

因而要求状态判别模型能够自适应,具有足够的鲁棒性,才能保证判别结果的准确性。

## 2.2 模型基本思想

图 2 所示为交通信号灯状态判别的流程,图 3 所示为其中判断一个灯的亮灭状态的流程。不同的信号灯组具有不同的配置,从颜色组合上有红黄绿灯、红绿灯等,从形状上分有圆形灯、箭头形灯,闯红灯视频自动监测系统允许对各种信号灯组类型进行配置。不管哪类灯

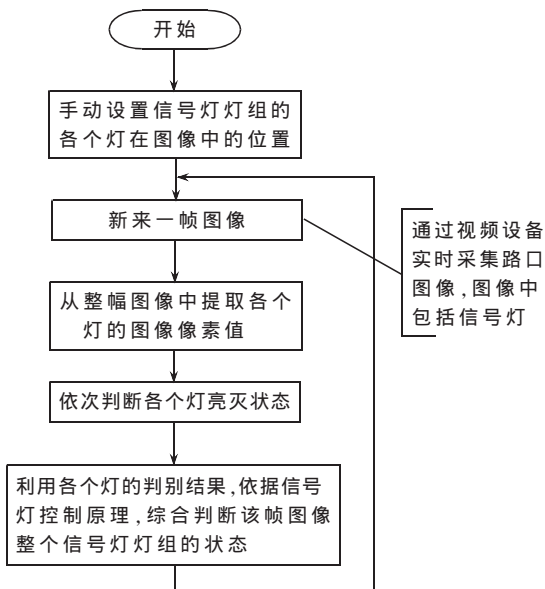


图 2 信号灯灯组状态判别流程

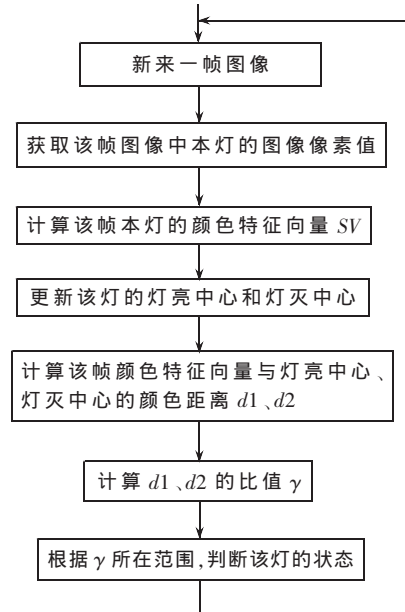


图 3 一个灯的亮灭状态判断流程

组,其状态判别思想类似:首先设定该灯组各个单灯在图像中所在的区域,然后根据各个灯所在区域的实时图像,判断各个灯是亮还是灭,进而根据信号灯组内各灯的控制逻辑关系(如红灯绿灯不可能同时亮,红绿切换之间黄灯亮等)给出最终判别结果,判断的基础和难点在于各个灯的亮灭状态的判定。

下面以红灯为例,阐述判别该灯亮灭状态的模型。

对每一帧录像,计算红灯的颜色特征向量。抽取一段时间的录像数据,从数据聚类的观点来考察,能够把这些颜色特征向量聚成两类:一类代表灯亮,一类代表灯灭。每一类有个聚类中心,分别称为灯亮中心和灯灭中心。每当新来一帧录像时,比较该帧红灯颜色特征向量与灯亮中心和灯灭中心距离的比值(对于红灯,称该比值为红度,距离的计算方法见下文),如果红度很高,可判定红灯亮;如果红度很低,可判定红灯不亮;如果处于中间的某个区域,则判定状态未知或者信号灯出现故障。最后根据灯组各个灯的判别结果,判定到底是不是信号灯出现故障。

该模型的难度在于因为存在各种各样的干扰,灯亮中心和灯灭中心会发生变化,这要求模型具有非常强的自适应功能,能够自动地更新灯亮中心和灯灭中心。引起变化的原因主要有两类:(1)正常变化源:常规的昼夜更替、四季轮回,不定期的炎炎烈日、刮风下雨、暴风雪等。(2)干扰源:天上一朵云飘过,偶尔一束强光打在交通灯上等。对于第一类,要求灯亮中心和灯灭中心能够及时跟上外界变化,才能准确识别交通灯状态,但是对于干扰源,则不应该跟上它的变化,否则将会偏离实际值,造成误判或者漏判。

## 2.3 灯亮中心和灯灭中心的计算

模型的难点在于灯亮中心和灯灭中心的自适应。本

(接上页)

文采取在线迭代聚类的方法计算并修正聚类中心,实现模型自适应,以保证灯亮中心和灯灭中心及时反映外界变化,提高模型的鲁棒性。以红灯灯亮中心为例,设  $BGR0_n$  为红灯的灯亮中心,当前帧红灯的颜色特征向量为  $SV$ ,计算公式如下:

$$BGR0_{n_{new}} = \begin{cases} \alpha \times BGR0_{n_{old}} + (1-\alpha) \times SV, & \text{当 } SV.r > BGR0_{n_{old}.r} \\ \beta \times BGR0_{n_{old}} + (1-\beta) \times SV, & \text{当 } SV.r < BGR0_{n_{old}.r} \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $SV.r$  代表该颜色向量的  $r$  分量,聚类参数  $\alpha$  和  $\beta$  为 0 和 1 之间的更新权重系数。其中,  $\alpha$  为跟踪系数,  $\alpha$  越小,跟踪能力越强,越能及时反映外界变化。但  $\alpha$  越小,越容易引入干扰,中心震荡越厉害。 $\beta$  为抗干扰系数,  $\beta$  越大,抗干扰能力越强,但是  $\beta$  越大,当灯灭中心低于实际值时,其纠偏能力越弱。应根据信号灯控制的周期和绿信比设置这两个参数。

## 2.4 红度的计算及状态判定

对于红灯,本文定义两个颜色向量  $S1$  和  $S2$  的距离  $d$  为:

$$d = \sum_{i=1}^3 t_i |s1(i) - s2(i)|, \text{其中 } 0 < t_i < 1, \sum_{i=1}^3 t_i = 1 \quad (3)$$

由于红灯亮和灭时,其红色分量差异最大,因而在三个系数  $t_i$  中,  $t_1$  的值设得最大,这样有利于增强系统的鲁棒性。

对于红灯,根据红度的取值范围,判断红灯的当前

状态。判定准则如下:

判定准则 1: 如果红度  $< 0.5$ , 则判定红灯灭。

判定准则 2: 如果红度  $> 3$ , 则判定红灯亮。

判定准则 3: 如果红度在 0.5 和 3 之间, 判定状态未知, 留待灯组分析时进行判断。

判定准则 4: 在灯组分析时, 如果发现红黄绿三个灯的判别结果都是状态未知, 则可判断信号灯出现故障; 或者发现灯的亮灭状态与该信号灯的控制逻辑不符合, 也可判断为信号灯出现故障。

通过红度的计算, 采用比值作为判别量, 提高了模型的抗干扰能力, 增强了模型的鲁棒性。

利用实时视频录像, 采用视频图像处理的方法来判断交通信号灯状态, 既降低了机动车违章闯红灯自动监测系统安装和维护的成本, 也避免了信号机出现故障时发生的误判。该视频信号灯状态判别模型在闯红灯视频自动监测系统中的应用结果表明, 模型准确、可靠、鲁棒性强, 满足实际应用要求。

## 参考文献

- 1 陆化普, 李瑞敏, 朱茵. 智能交通系统概论. 北京: 中国铁道出版社, 2004
- 2 李慧, 王力强. 2004 中国国际智能交通论坛“核心论点综述”. 山西警官高等专科学校学报, 2004; 12(3)
- 3 刘大海, 卢朝阳. 视频技术在智能交通系统中的应用. 计算机工程, 2003; 29(17) (收稿日期: 2006-07-28)