

# 基于区域密度的交通拥堵判别方法<sup>①</sup>

陈玉思<sup>1</sup>, 蔡坚勇<sup>1,2,3</sup>, 王良鸿<sup>1</sup>, 石慧玲<sup>1</sup>, 童飞扬<sup>1</sup>, 陈锦旗<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

<sup>2</sup>(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

<sup>3</sup>(福建师范大学 福建省先进光电传感与智能信息应用工程技术研究中心, 福州 350007)

**摘要:** 本文通过对交通流进行特征提取和状态的划分, 建立了交通流判别准则. 同时提出一种交通拥堵程度的智能判断方法, 该方法以区域密度作为判别交通流状态的主要特征值, 辅以时间占有率, 结合空间和时间维度来判断当前道路的拥挤程度. 仿真实验说明该方法具有较好的准确性和客观性.

**关键词:** 特征提取; 交通流判别准则; 区域密度; 时间占有率

## Discriminant Method of Traffic Congestion Based on Regional Density

CHEN Yu-Si<sup>1</sup>, CAI Jian-Yong<sup>1,2,3</sup>, WANG Liang-Hong<sup>1</sup>, SHI Hui-Ling<sup>1</sup>, TONG Fei-Yang<sup>1</sup>, CHEN Jin-Qi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

<sup>2</sup>(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

<sup>3</sup>(Fujian Provincial Engineering Research Center for Optoelectronic Sensors and Intelligent Information, Fuzhou, Fujian 350007, China)

**Abstract:** In this paper, a traffic flow criterion is established which is based on extracting the features of the traffic flow and dividing its state. Combined with spatial and temporal dimensions, a new method is proposed to judge the congestion level of the current road according to the regional density and the time occupancy as the features of the traffic flow state. The simulation shows that this method has better accuracy and objectivity.

**Key words:** feature extraction; traffic criteria; regional density; time occupancy

当前对交通拥堵的判定方法越来越丰富, 常用的交通拥堵判定方法有基于传感器的, 如环形线圈检测法, 地磁检测法, 微波检测法, 超声波检测法, 红外线检测法等<sup>[1]</sup>; 或是从视频监控角度出发设置检测带来检测车辆的数量和速度, 通过设置虚拟检测线, 提取检测线上车辆信息的方法, 来进行车流量的检测<sup>[2]</sup>; 有的是通过提取车辆速度、车流量等特征值的基础上建立算法来分类, 比如利用边缘信息作为车辆的检测特征<sup>[3]</sup>, 或通过 ANN 算法统计出车流量判断拥堵<sup>[4]</sup>; 或是从某个车道上进行考虑, 通过单车道的车流密度来判别拥堵与否<sup>[5]</sup>. 以上这些方法有的系统安装不便, 路面受损时会破坏系统, 安装和维护成本高, 有的从单点或是局部上来采集数据.

以上大多数方法是基于局部空间来判断道路是否

拥堵, 数据的可靠性相对具有局限性, 导致结果的准确度不高. 本文从宏观角度出发, 对道路整体空间进行考虑, 分析了交通流参数, 提出区域密度特征值, 建立了交通流判别准则, 并设计提取区域密度特征值的算法, 结合交通流参数中的时间占有率, 从空间和时间维度来判别交通流状态.

## 1 交通流的特征提取和状态划分

### 1.1 区域密度特征值的建立

目前主流的交通流的基本参数有<sup>[6]</sup>: 交通流量  $S$ 、密度  $\rho$ 、速度  $v$ 、占有率  $\beta$ . 其中密度  $\rho$  作为交通强度的度量指标<sup>[6]</sup>, 常被用于交通流状态和服务水平的划分. 占有率  $\beta$  包括空间占有率和时间占有率, 在道路的一定路段上, 车辆总长度与路段总长度之比称为空

① 收稿时间:2015-10-16;收到修改稿时间:2015-12-10 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005220]

间占有率,以百分数表示<sup>[7]</sup>.因为空间占有率直接反映交通密度的高低.所以面积固定的车道上的车辆总数的数学模型可以表示为:

$$S_v = S_r * \rho \tag{1}$$

式子中  $S_v$  表示车道上的车辆总数,  $S_r$  表示车道的总面积,  $\rho$  表示交通密度.而在交通相对稳定情况下,交通密度和空间占有率存在线性关系<sup>[8]</sup>:

$$\rho = \kappa * \beta \tag{2}$$

式中  $\beta$  表示空间占有率,  $\kappa$  表示常数.由公式(1)和(2)可得出:

$$S_v = \kappa * S_r * \beta \tag{3}$$

考虑实际场景,每辆车在路面上的投影面积大小是不变的,故从统计角度看,我们可以假定每辆车的投影面积为常数  $\omega$ .那么车道上的所有车辆的投影总面积和车道面积比  $\eta$  就可以表示为:

$$\eta = S_v * \omega / S_r = \kappa \omega \beta = \omega \rho \tag{4}$$

式中我们定义  $\eta$  为道路上的区域密度.

$\rho$  和  $\beta$  常作为判断交通流状态和服务水平的主要指标.而  $\rho$  和  $\beta$  不能由检测器直接检测获取,从式子(4)我们可以看出  $\eta$  与  $\rho$  和  $\beta$  存在线性关系.因此我们可以通过公式(4)求得  $\eta$  值,  $\eta$  值的确定也就间接固定了  $\rho$  和  $\beta$  的对应值,将这二个不同的变量都转换成另外一个变量.从上面的论证和推导可以得出:以  $\eta$  来作为道路服务水平和交通流状态的划分指标具有很强的可靠性和有效性.

### 1.2 交通流状态划分

为了方便管理和应用,我们需要对交通流的拥堵程度进行划分,我国公安部 2002 年公布的《城市交通管理评价指标体系》中规定<sup>[9]</sup>,以城市主干道上机动车平均行程速度来描述其道路交通运行状况.规定如表 1.

表 1 我国城市主干道路交通状态划分

道路状态	速度上限(km/h)	速度下限(km/h)
畅通		30
轻度拥挤	30	20
拥挤	20	10
严重拥挤	10	

由交通流基本模型<sup>[10]</sup>:

$$q = \rho * v \tag{5}$$

式中  $q$  表示流量,  $v$  表示道路车辆的平均速度.从式子(5)可知,当  $q$  一定时,  $\rho$  与  $v$  是反比关系.由于  $\rho$  和  $\eta$  是正比关系,所以  $\eta$  和  $v$  也是反比关系.当  $v$  值一定时,

$\eta(\eta \in [0,1])$ 值也是相对固定,比如当时速为 30km/h 时,  $\eta$  值约为 0.28.因此我们可以通过划分区域密度值  $\eta$  来划分交通流的状态.根据实验统计得到表 2.

表 2 城市主干道路交通状态  $\eta$  划分

道路状态	速度		$\eta$ 值上限	$\eta$ 值下限
	上限(km/h)	下限(km/h)		
畅通		30		0.28
轻度拥挤	30	20	0.28	0.39
拥挤	20	10	0.39	0.52
严重拥挤	10		0.52	

现实中由于道路情况复杂性和随机性,会由于红绿灯引起短暂性的道路拥堵,所以我们在实际应用判断时,加入时间占有率这个特征值.综合区域密度值和时间占有率这两个特征值来判断交通流的状态,一般定义当视频中道路交通流出现严重拥堵情况下,且拥堵时间超过一个红绿灯周期,就判定当前道路已经严重拥堵.

## 2 提取区域密度特征值的算法设计

通过上面的交通流模型分析,从影响交通流的主要参数中分析出了  $\eta$  特征值.为得到  $\eta$  值,本文根据  $\eta$  的特点,设计了相应的提取算法.该算法分为两大部分:

第一步是前期准备.随机取一张道路图片,我们采用脉冲神经网络进行图像的边缘检测,提取图像的边缘<sup>[11]</sup>.然后通过霍夫变换(Hough Transform)确定道路边界,把道路区域作为 ROI(Region Of Interest).由于靠近摄像机方向的车辆在图片中占的面积远大于离摄像机较远的车辆在图片中的面积.为了减小这个原因造成的影响,我们对 ROI 进行分形处理,把整个道路分成多个小区域:

$$R_{ROI} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \tag{6}$$

式中  $R_{ROI}$  表示总的道路区域,  $a_1, a_2, \dots, a_n$  表示  $R_{ROI}$  被分形成的  $n$  个小区域.本文把  $R_{ROI}$  分成三个部分,即  $n=3$ .分形的比例是根据凸透镜成像原理结合实际道路的长度、视频中道路的长度、摄像头的高度、摄像头与水平面的夹角来确定,尽量把道路均等分形,本文将由远及近的划分比例设定为 1: 2: 4.结果如图 1 所示:

把远离摄像头的区域,也是面积最小的区域定义为  $a_1$ ,中间的区域定于为  $a_2$ ,最靠近摄像头的区域,同时也是面积最大的区域定义为  $a_3$ .相应的  $R_{ROI}$  的面积

也就分为:

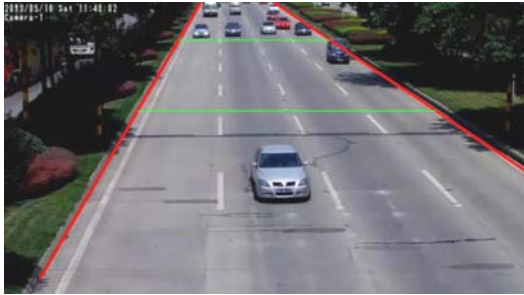


图 1 将道路划分为 3 个小区域

$$S_{R_{ROI}} = S_r = \{S_{a_1}, S_{a_2}, \dots, S_{a_n}\} \quad (7)$$

式中  $S_{R_{ROI}}$  表示道路  $R_{ROI}$  的面积总面积,  $S_{a_1}, S_{a_2}, \dots, S_{a_n}$  表示各个  $a_1, a_2, \dots, a_n$  小区域的面积.

第二步是通过背景差分法提取目标车辆, 并统计出各个小区内所有车辆的面积  $S_{v_{sum}}$

$$S_{v_{sum}} = S_v * \omega = \{S_{c_1}, S_{c_2}, \dots, S_{c_n}\} \quad (8)$$

式中  $S_{v_{sum}}$  表示  $R_{ROI}$  区域中所有车辆在道路上的面积总和,  $S_{c_1}, S_{c_2}, \dots, S_{c_n}$  表示对应各个小区域  $a_1, a_2, \dots, a_n$  内车辆面积之和. 结合公式(4)和(8)比较可知, 我们直接由算法得到车辆在道路中的面积, 与常数  $\omega$  无关, 这样就减小了由于车辆大小不同造成的误差. 可以得出每个区域的区域密度值为:

$$\eta = \{\eta_{r_1}, \eta_{r_2}, \dots, \eta_{r_n}\} \quad (9)$$

式中  $\eta$  表示  $R_{ROI}$  区域的区域密度,  $\eta_{r_1}, \eta_{r_2}, \dots, \eta_{r_n}$  表示各个小区域  $a_1, a_2, \dots, a_n$  的区域密度. 通过各个  $\eta_{r_1}, \eta_{r_2}, \dots, \eta_{r_n}$  值来判断其对应的小区域内道路的拥堵状态, 然后综合各个小区域  $a_1, a_2, \dots, a_n$  的拥堵状态来评判当前道路整体的拥堵情况. 算法流程如图 2:

### 3 实验结果

我们选取了一段交通视频在 PC 上进行实验, 仿真软件为 matlab 2012a 版本. 实验视频帧率为 25fps, 图像分辨率为 672×378 像素. 通过背景差分法得到目标车辆, 并对目标进行形态学处理. 然后分别统计出各个区域的  $\eta$  值, 结合交通流状态划分的  $\eta$  值域, 再对当前交通流状态做出判别. 在实际应用和管理中, 交通流的划分层次以 3-4 层居多. 当道路较长或是较为复杂时, 根据现实需求增加交通流的划分层次, 一般划

分最多不超过 5 个层次. 本文将道路交通流状态简化为三种: 畅通、较为拥堵、严重拥堵. 三种密度值  $\eta$  划分如表 3.

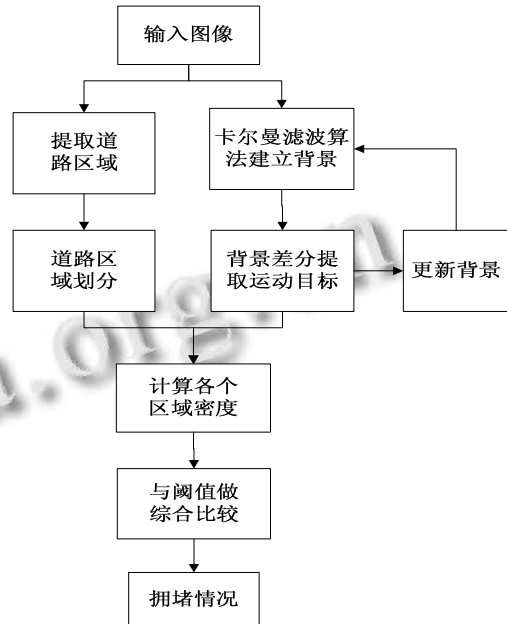


图 2 算法流程图

表 3 交通流状态划分

拥挤程度	畅通	较为拥堵	严重拥堵
$\eta$ 范围	[0,0.3)	[0.3,0.5]	(0.5,1]

区分交通流状态时, 当三个区域密度都落在同一个密度范围内, 或是只有其中两个落在同一个区间, 而另外一个落在不同区间, 我们定义道路的拥挤程度是落在最多的区间数里面. 当三者都不同时, 我们就取中间的拥挤程度, 也就是较为拥堵. 这里我们选取交通流状态差异较大的三张图片(图 3、图 4、图 5)和表 3 进行分析比较.



图 3  $\{\eta_{a_1}, \eta_{a_2}, \eta_{a_3}\} = \{0.2402, 0.1019, 0.1644\}$

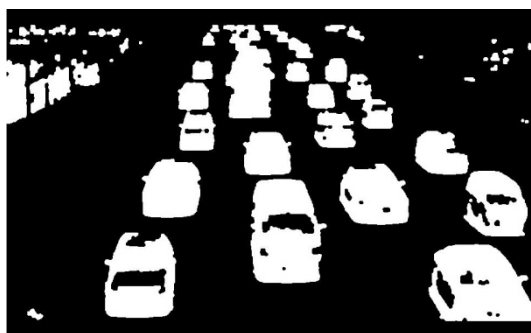


图 4  $\{\eta_{a_1}, \eta_{a_2}, \eta_{a_3}\} = \{0.4040, 0.4220, 0.3552\}$



图 5  $\{\eta_{a_1}, \eta_{a_2}, \eta_{a_3}\} = \{0.6977, 0.6018, 0.5008\}$

对图 3、图 4、图 5 中的车辆按照上面划分的区域进行  $\eta$  值统计, 结果如下表 4、表 5、表 6 所示。

表 4 图 3 各区域密度

区域	区域 $a_1$	区域 $a_2$	区域 $a_3$
$\eta$ 值	0.2402	0.1019	0.1644

表 5 图 4 各区域密度

区域	区域 $a_1$	区域 $a_2$	区域 $a_3$
$\eta$ 值	0.4040	0.4220	0.3552

表 6 图 5 各区域密度

区域	区域 $a_1$	区域 $a_2$	区域 $a_3$
$\eta$ 值	0.6977	0.6018	0.5008

将表 4、表 5、表 6 分别和表格 3 进行对照后可以得到: 图 3 中的道路交通流状态是畅通, 图 4 的道路交通流状态是较为拥堵的, 而图 5 的道路交通流状态是严重拥堵的。当视频中道路交通流出现严重拥堵情况, 且拥堵时间超过一个红绿灯周期, 就判定当前道路已经严重拥堵, 则自动给出拥堵警报。

#### 4 实验结果分析比较

通过实验结果我们发现, 按照王尧等提出的判别方法只能将交通流划分为拥堵和非拥堵这两种结果<sup>[6]</sup>,

而我们的判别方法可以根据实际应用需求划分成更多层次的交通流状态。另外王尧等提取出来的特征值结合了速度参量<sup>[6]</sup>, 我们知道道路中的不同车道驶向不同、速度差异很大, 导致他的特征值误差很大, 从而使判别结果的不可靠性增大。按照他的方法判断难以分清图 4 和图 5 这两种交通拥堵的差异。我们这里提取的特征值避免混进速度变量, 判别结果更加准确。

#### 5 结语

本文通过对道路的交通流特性分析, 从整体中分析选取交通流变量, 建立  $\eta$  特征值。这个特征值不会像速度这类参量因为个体不同或位置不同而差异悬殊, 以致于整体的判别结果误差进一步加大, 相互比较而言, 本文的特征值的稳定性更好和可靠性更强, 判别的结果的准确性大大提高。本文通过设计算法提取出分形道路区域的  $\eta$  值, 并结合时间占有率, 从多个维度对道路交通流的实时状态做出判断。从实验算法可知, 该方法的时间复杂度是常数阶  $O(1)$ , 方法复杂度低, 判断结果客观、准确性高。

#### 参考文献

- 1 许成闯. 基于视频的车流量检测技术与实现[学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- 2 林薇. 基于机器视觉的道路车流量检测方法研究[学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2011.
- 3 罗东华, 余志, 李熙莹, 陈锐祥, 张辉. 基于边缘的背景差法在车流量检测中的应用. 光电工程, 2007, 11: 70-73, 77.
- 4 王川童. 基于视频处理的的城市道路交通拥堵判别技术研究[学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- 5 Jianming H, Qiang M, Qi W, et al. Traffic congestion identification based on image processing. Intelligent Transport Systems, 2012, 6(2): 153-160.
- 6 王尧, 邵长桥, 刘洋. 城市快速路交通拥堵判定方法研究. 交通信息与安全, 2014, (2): 23-27.
- 7 王尧. 城市道路交通拥堵评价与判定方法研究[学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2014.
- 8 Guan W, He SY. Statistical features of traffic flow on urban freeways. Physica A, 2008, 387(4): 944-954.
- 9 纪铮翔. 道路交通运行状态评价关键指标研究[学位论文]. 上海: 同济大学, 2007.
- 10 庄斌, 杨晓光, 李克平. 道路交通拥挤事件判别准则与检测算法. 中国公路学报, 2006, 3: 82-86.
- 11 蔡荣太, 吴庆祥. 基于脉冲神经网络的边缘检测. 微电子学与计算机, 2010, 10: 178-181, 185.