基于视频检测技术的交通拥挤判别模型 *

刘卫宁[a], 曾 恒[a], 孙棣华[b], 赵 敏[b]
(重庆大学 a. 计算机学院; b. 自动化学院, 重庆 400044)

摘 要: 针对日益严重的城市道路交通拥挤问题,提出基于视频检测技术直接判断道路交通拥挤程度的方法。以道路占有率、占有率方差、占有率变化量绝对值为交通特征参数,研究了其与道路拥挤事件发生的关系,在此基础上利用模糊 C-均值算法给出了一种交通状态划分方法,最后建立了一种新的交通拥挤判别模型。应用实际采集的视频数据,分别通过该模型及人为判断进行实验验证。实验结果表明该模型是有效可行的。

关键词: 交通拥挤; 判别模型; 视频检测; 模糊 C-均值算法; 道路占有率
中图分类号: U491; TP391 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-3695(2010)08-3006-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.08.051

Video-based discriminant model of traffic congestion

LIU Wei-ning[a], ZENG Heng[a], SUN Di-hua[b], ZHAO Min[b]
(*a. School of Computer, b. School of Automation, Chongqing University, Chongqing* 400044, *China*)

Abstract: Aiming at the increasing congestion of traffic, this paper proposed a method employing video detection to judge the extent of congestion directly. The traffic characteristic parameters such as the occupancy of road, mean-variance of occupancy, adopted the absolute value of variation of occupancy and studied their influence on the occurrence of roads crowded events. Then proposed a kind of transportation state partition method, consequently, presented a new model of judging traffic congestion. Testing by the real video data collected on spot, the results of the proposed model is in good agreement with the judgment made by human, and thus the validity of method is demonstrated.

Key words: traffic congestion; discriminant model; video detection; fuzzy C-means; occupancy of road

随着城市的高速发展,城市交通的拥挤问题日益严重。应用智能交通系统缓解城市交通拥挤问题,已经得到人们的高度重视。交通拥挤的实时检测作为智能交通系统基础技术之一,对于提高道路的通行能力发挥着重要作用。

先进的交通拥挤检测系统是以实时采集交通状态信息为基础的,目前采用较多的有地埋式感应线圈、微波检测器、GPS 浮动车检测技术、视频检测技术等。地埋式感应线圈为最传统的检测技术,存在易损坏、难修复、施工复杂的缺点[1];微波检测器是一种工作在微波频段的雷达探测器,其技术复杂,价格较高[1];GPS 浮动车检测技术是在车辆上安装 GPS 装置,通过获取的信息估计道路交通状态,其缺点是存在检测盲区[2]。近年来,随着计算机视觉技术的发展,视频检测技术应用于交通信息采集逐渐成为研究主流[3]。与其他检测技术相比,其主要优点有不破坏路、安装无须中断交通、检测功能多和可记录现场图像等[4]。因此,充分利用视频检测技术服务于交通信息检测有着重要的意义。

目前基于视频的交通拥挤检测系统都是建立在获取大量交通状态参数的基础上,如流量、占有率、速度、车间距、排队长度等,然后选取多个参数利用传统的拥挤判别算法实现对交通拥挤事件的检测[5]。此类系统开销大,实现复杂。因此有必要建立一种新的易于实现、准确性高的自动检测模型。

本文主要利用安装于路口的摄像头采集的图像,通过图像处理算法提取出交通特征信息,再通过理论推导和统计分析,构造出更加简洁的拥挤判别指标,从而实现对拥挤事件的实时自动检测,为交通管理部门提供及时、准确的决策依据。

1 交通拥挤检测模型建立

1.1 交通特征参数的采集与处理

交通状态参数的提取过程如图 1 所示。首先通过架设在路口的摄像头采集实时图像数据;其次采用 Elgammal 等人[6]提出的核密度估计(KDE)模型对图像背景进行提取;然后采用传统的背景差分法将车辆目标从背景中分离出来;最后进行交通参数的提取:a)道路占有率,$C_i = i$ 时刻目标车辆面积/道路面积;b)$\mu_c = \sum_{i=1}^{n} C_i$,$\mu_c$ 表示一段道路的占有率平均值,占有率方差 $D_{c_i} = (C_i - \mu_c)^2$;c)占有率变化量 $\Delta_{c_i} = C_i - C_{i-1}$。

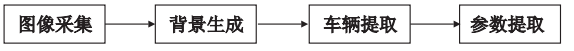

图1 数据采集与处理流程图

1.2 交通流参数分析

由于道路上交通流的复杂性,在道路上行进的车流运行状态随着时间的变化而时刻改变。经过大量实验数据得出,道路占有率(图 2)可以很直观地反应出道路上车辆分布的情况,而占有率方差(图 3)对于道路出现高饱和现象反应比较敏感。

为了寻求两者之间的关系,本文建立了占有率、占有率方差的二维图。实验结果表明:道路占有率和占有率方差存在两

收稿日期: 2009-12-24; **修回日期**: 2010-03-01 **基金项目**: 国家教育部高等学校博士点基金资助项目(20090191110022)

作者简介:刘卫宁(1965-),女,重庆人,教授,博导,主要研究方向为智能交通、电子商务、现代物流(lwn_cq@163.com);曾恒(1985-),男,四川绵竹人,硕士研究生,主要研究方向为智能交通;孙棣华(1962-),男,重庆人,教授,博导,主要研究方向为智能交通、系统工程、计算机控制;赵敏(1980-),女,四川南充人,讲师,主要研究方向为控制理论、图像处理.

种对应关系(图 4),同一个占有率方差可能对应正常情况下的低占有率,也可能对应于拥挤状态下的高占有率,两者的关系近似为抛物线关系。在抛物线极小点的右边,占有率方差随占有率的增加而增加,此时共同使用两者能很好地反映道路上拥挤程度的大小。

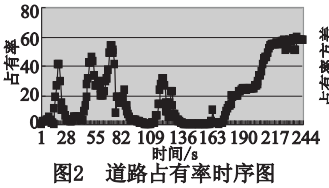

图2　道路占有率时序图

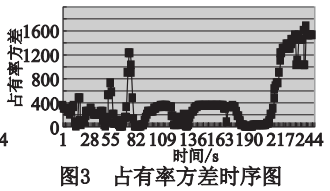

图3　占有率方差时序图

考虑到交通拥挤发生时,道路会连续长时间处于高占有率,为了反映道路交通状态是否出现变化,本文引入占有率变化量绝对值。通过大量数据统计发现,当出现拥挤事件时,占有率量的变化是非常缓慢、非常小的,如图 5 所示,在 217 ~ 237 s 时占有率变化量的绝对值一直维持在很小的一个数值,此时段发生了交通拥挤。

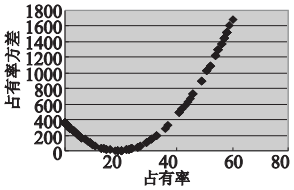

图4　占有率和占有率方差关系散点图

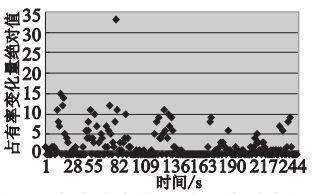

图5　占有率变化量绝对值时序图

由以上分析可知,当占有率和占有率方差都处于一个高数值的同时,其占有率的变化量绝对值在一段时间内保持在一个较小值的时候,道路发生交通拥挤。

1.3　交通状态分类

道路交通服务水平(LOS)起源于美国的(highway capacity manual, HCM)[7]。目前,国外多数国家关于道路交通服务水平的研究都是在 HCM 的基础上展开的[8]。对于城市道路,美国将服务水平划分为 A、B、C、D、E、F 六级(我国分为四级,一级和二级与美国的 A、B 分别对应,三级相当于美国的 C、D 两级,四级相当于美国的 E、F 两级),其分别对应着完全自由流状态、一般自由流状态、基本自由流状态、接近非自由流状态、非自由流状态和强制流状态[9]。但是该指标不易被非专业人士理解,且不能直观描述路段的拥挤情况,所以本文将路段交通状态划分成四级,分别描述为畅通、正常、较拥挤、拥挤。

在将交通状态划分为最终的四类之前,本文首先选取道路占有率和占有率方差两个量,利用模糊 C-均值算法(fuzzy C-means,FCM)将交通状态粗划分为畅通、缓行、拥挤报警三个中间状态,并得到三类的聚类中心。

FCM 算法的基本步骤为:a)随机选择一个初始划分矩阵 U_0。b)根据 U_0 和式(1)计算聚类中心 i。c) 计算目标函数值。如果它小于某个确定的阈值,或者它相对上次目标函数值的改变量小于某个阈值,则算法停止。d)根据式(2)和已计算出的聚类中心 V_i,计算出新的软化分矩阵 U,同时也得到了新的分区;否则重复 b) ~ d),直至目标函数值达到最小。其中目标函数为

$$J_m(U,V)=\sum_{j=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\mu_{ij}^{m}\,\|x_i-v_j\|^2 \tag{1}$$

其约束条件为

$$\sum_{j=1}^{c}\mu_{ij}=1;\ \mu_{ij}\geqslant 0,c\geqslant j\geqslant 1,n\geqslant i\geqslant 1 \tag{2}$$

其中:n 为采集的交通信息集,经过数据处理后得到两个特征{道路占有率,占有率方差}的样本个数;c 为聚类中心数;μ_{ij} 为矩阵的第 i 行第 j 列,代表第 i 个样本对第 j 个聚类中心的隶属程度;V 为聚类中心矩阵;$\|x_i-v_j\|$ 表示第 j 组数据对于第 i 类聚类中心的欧式距离;m 为模糊指数,目的是加强 x_i 属于哪一类从属程度的对比度。

令 $\boldsymbol{x}_i=[C_i,D_{c_i}]^{\mathrm{T}}$。其中:$C_i$ 表示 i 时刻的道路占有率,D_{c_i} 表示占有率方差。利用 FCM 算法经过多次迭代,得到三个交通状态的聚类中心:$\omega=(\omega_1\quad\omega_2\quad\omega_3)=\begin{pmatrix}12 & 32 & 49\\ 49 & 169 & 900\end{pmatrix}$,第一行表示道路占有率,第二行表示占有率方差。$\omega_1$、$\omega_2$、$\omega_3$ 分别代表畅通、缓行、拥挤报警三个状态的聚类中心,之后通过计算 $\|x_i-\omega_j\|$ 的值判断此刻属于哪一种状态。

1.4　拥挤事件检测算法的步骤

由 1.2 节的分析可知,交通拥挤是在以下两个条件同时满足时发生的:a)占有率和占有率方差均处于一个高数值;b)占有率的变化量绝对值在一段时间内保持在一个较小值。

为正确判断拥挤事件的发生,根据 1.3 节得到的三个聚类中心,输入样本向量 x_i,计算 $\|x_i-\omega_j\|$ 的值,判断 $\|x_i-\omega_j\|$ 是否等于 $\min\{\|x_i-\omega_k\|\}$。如果等于,即表明 x_i 距离聚类中心 ω_k 最近,则将 x_i 归到 ω_k 所代表的类别中去。ω_3 为高占有率、高占有率方差点的聚类中心,代表着拥挤报警状态,当 x_i 归为拥挤报警状态时,即满足条件 a)。然后,判断是否 $|\Delta_{c_i}|<\alpha$,如果是则满足条件 b),此时交通拥挤发生。

图 6 为拥挤检测的算法流程图。由图 6 可以看出,交通状态最终被划分为畅通、正常、较拥挤和拥挤四种状态,自动检测了交通拥挤事件的发生。其中涉及到 α、β 的取值问题,这两个值的标定必须建立在大量数据统计分析的基础之上,本文以重庆市多条道路上采集的视频数据为基础,根据实际情况,α、β 均取值为 6。

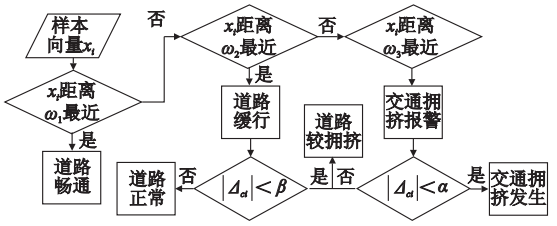

图6　交通拥挤判别流程图

2　算例分析

本文以重庆市实际路段采集的视频图像数据为基础,得到所需参数,利用建立的交通拥挤检测算法,进行交通拥挤事件判别。取重庆市不同路段、不同时刻的图像数据对交通拥挤判别模型进行了评估。表 1 对比了本文模型判别得到的结果和人为判断的结果。

表 1　模型判别与人为判断对比结果

路段	方式	畅通次数	正常次数	较拥挤次数	拥挤次数	正确率%
红旗河沟	模型	45	25	54	26	94.6
	人为	44	23	58	25	
枇杷山公园	模型	30	20	78	22	96
	人为	28	22	79	21	
鹅岭隧道	模型	39	30	66	15	94.4
	人为	40	33	61	16	

从表 1 的数据对比结果可知,本文提出的拥挤判别模型的

判别结果与人为判断结果一致性达到 90% 以上,充分说明了该模型的有效性和正确性。为了进一步给出更加直观的对比实验结果,本文现取重庆市不同路段、不同时刻的典型(其中每时刻间隔 20 s)图像为例,如图 7 ~ 11 所示,分别通过该模型及人为判断进行实验,验证检测算法的实际效果,并在表 2 中给出结果。表 2 中,1 表示畅通,2 表示正常,3 表示较拥挤,4 表示拥挤,Alarm 表示是否进入报警状态。

图7　重庆红旗河沟路段i时刻

图8　重庆红旗河沟路段i+1时刻

图9　重庆枇杷山公园门口i时刻

图10　重庆枇杷山公园门口i+1时刻

图11　重庆枇杷山公园门口i+2时刻

表 2　交通拥挤判别结果

	红旗河沟		枇杷山公园(左路段)			枇杷山公园(右路段)		
时刻	i	$i+1$	i	$i+1$	$i+2$	i	$i+1$	$i+2$
C_i	55	59	61	59	60	9	30	11
D_{c_i}	1 291	1 600	1 764	1 600	1 681	100	121	64
$\lvert\Delta_{c_i}\rvert$	3	4	3	2	1	15	21	19
Alarm	是	是	是	是	是	否	否	否
状态	4	4	4	4	4	1	2	1
人为判断	4	4	4	4	4	1	2	1

由上面的判断过程可以看出,本文的算法不仅能够检测出拥挤事件的存在,而且能够对交通流状态进行实时监督,并且与人为判断对比验证了模型算法的正确性。

3　结束语

本文基于视频检测技术对城市道路交通进行信息采集,建立交通拥挤判别模型,分别通过该模型及人为判断进行实验验证,并得出如下结论:a)基于采集得到的实时视频数据提取出交通信息,通过对道路占有率、占有率方差、占有率变化量绝对值进行分析得出,当占有率和占有率方差都处于一个高数值的同时,其占有率的变化量绝对值在一段时间内保持在一个较小值的时候道路发生交通拥挤的结论。b)结合模糊 C-均值算法建立交通拥挤判别模型,并将交通状态描述为畅通、正常、较拥挤、拥挤四个等级,最终结果与人为判断一致,表明模型的正确性。

参考文献:

[1] 吴薇,朱光喜,陈云锋. 基于视频技术的嵌入式交通信息采集系统[J]. 计算机应用研究,2008,25(7):2104-2106.

[2] 孙棣华,董均宇,廖孝勇. 基于 GPS 探测车的道路交通状态估计技术[J]. 计算机应用研究,2007,24(2):243-245.

[3] 方晓莹,黄林伟,刘富强. ITS 中基于视频的交通异常情况检测[J]. 计算机工程与应用,2006,42(36):212-215.

[4] 冯奇,周小鹏,孙立军,等. 视频图像处理技术在实时交通信息采集中的应用[J]. 上海公路,2004(1):50-53.

[5] 汪勤,黄山,张洪斌,等. 基于视频图像处理的交通事件检测系统[J]. 计算机应用,2008,28(7):1886-1889.

[6] ELGAMMAL A, DURAISWAMI R, HARWOOD D, *et al*. Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance[J]. Proceedings of the IEEE, 2002,90(7):1151-1163.

[7] Highway capacity manual[M]. Washington DC: TRB, National Research Council,2000.

[8] 李梅红,孙棣华,涂平. 基于 GPS 浮动车的城市主干道交通服务水平实时评估模型[J]. 交通运输工程与信息学报,2008,6(1):73-78.

[9] 周伟,王秉纲. 服务水平与服务交通量的确定原理与方法研究[J]. 中国公路学报,2001,14(2):90-95.

[10] ELGAMMAL A, HARWOOD D, DAVIS L. Non-parametric model for background subtraction[C]//Proc of the 6th European Conference on Computer Vision. 2000.

[11] 施耀忠,陈学武,刘小明. 公路规划的技术评价指标与评价标准的研究[J]. 中国公路学报,1995,8(1):122-123.

(上接第 3005 页)

参考文献:

[1] BOAR C. Industrial clusters, focal firms, and economic dynamism: a perspective from Italy[R]. Washington DC: World Bank Institute, 2001.

[2] 青木昌彦, 安藤晴彦. 模块时代:新产业结构的本质[M]. 周国荣,译. 上海:上海远东出版社, 2003:5-6.

[3] 陈劲, 桂彬旺. 复杂产品系统模块化创新流程与管理策略[J]. 研究与发展管理, 2006, 18(3): 74-79.

[4] 魏江, 朱海燕. 高技术产业集群创新过程模式演化及发展研究——以杭州软件产业集群为例[J]. 研究与发展管理,2006,18(6):116-121.

[5] SHENHAR A J. From low- to high-techn project management[J]. R&D Management,1993,23(3):199-214.

[6] MIKE H. Product complexity, innovation and industrial organisation[J]. Research Policy, 1998,26(6):689-710.

[7] FABRIZIO S. Toward a product system modularity construct: literature review and reconceptualization[J]. Trans on Enginee-ring Management, 2007,54(2): 219-240.

[8] ALESSANDRO M, FEDERICO M, MAURIZIO S. Focal firms as technological gatekeepers within industrial districts: knowledge creation and dissemination in the italian packaging machinery industry[R]. Copenhagen: Danish Research Unit for Industrial Dynamics, 2005.

[9] 白雪洁. 新型竞争环境下后发企业的技术创新策略——基于天津某汽车胶管企业的案例分析[J]. 科技进步与对策,2008,25(3):91-95.

[10] HANSEN M T. Knowledge networks: explain effective knowledge sharing in multiunit companies[J]. Organizational Science Journal, 2002,13(3):232-248.

[11] DAVIES A, BRADY T. Organizational capabilities and learning in complex product systems: towards repeatable solutions[J]. Research Policy,2000,29(7-8): 931-953.

[12] EMMANUELLE F, MAX K. Testing a model of exploration and exploitation as innovation strategies[J]. Small Business Economics, 2009,33(3): 257-272.

[13] 约翰· 霍兰. 隐秩序——适应性造就复杂性[M]. 周晓牧,韩晖,译. 上海:上海科技教育出版社, 2000: 41-42.

[14] 何西培, 何坤振. 信息熵辨析与熵的泛化[J]. 情报杂志,2006,25(12):109-112.

[15] 李习彬. 熵——信息理论及系统工程方法论有效性分析[J]. 系统工程理论与实践,1994,14(2):37-42.

[16] 洪军. 网络组织复杂性度量的熵模型研究[J]. 中国管理科学,2005,14(z1):582-585.