

城市道路交通拥堵自动判断算法研究*

全洪波, 陈锐祥

(中山大学智能交通研究中心, 广东 广州 510275)

摘要: 与高速公路交通流特点相比较, 从城市路网中交通流多数为间断流的特点出发, 结合目前城市道路中所使用的交通流采集设备及信号控制设备, 利用交通工程中交通流到达-离散模型对城市道路中不同类型的城市交通流进行分析, 选择出符合交通流变化的数学模型对进入路段和驶出路段的交通流分别利用模型匹配, 从而进行交通拥堵进行自动检测。这类算法的应用既为城市道路拥堵的自动判断提供了手段, 又使得城市中所使用的智能交通设施发挥更广泛的作用。

关键词: 城市道路; 拥堵判断; 到达/离散函数; 延误

中图分类号: U12 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 01-0042-05

目前所使用的拥堵判断算法多数是应用于高速公路中, 其所适用的交通流特点基本都是连续流而非间断流的状态。基本原理为: 在事件发生地点附近, 交通流参数如密度、占有率、流量或速度等将会发生改变, 通过检测器收集车流相关特性资料, 将实时交通参数与通过分析历史数据得出阈值进行对比或利用事件自动检测算法预测道路上各检测点所在位置或路段的特性参数, 并与实际观测的各检测点或路段的交通流参数进行分析比较, 进而判断出事件发生的地点和严重程度^[1-7]。

但由于城市路网存在众多的交叉口, 其交通流基本都属于间断流, 因此适用于高速公路的拥堵判断算法在城市道路中基本无法应用。但城市道路拥堵情况更需要智能化、更及时的发现与处置^[8-9]。

因此, 结合当前城市智能化交通流检测设备及信号控制设备的应用现状, 本文对城市交通拥堵判断提出了一种新的算法^[10-14]。

1 线圈 (LOOP) 与信号控制设备 (SCATS) 综合利用

线圈与信号控制设备的综合利用^[10], 就是分别利用线圈和信号控制设备所采集的实时交通流数据与交通工程中车流的到达和离散函数相匹配, 通过计算模型计算出一定时间范围内的车流量, 与通过历史数据所确定的阈值相对比, 从而进行拥堵检测, 具体步骤如下:

(1) 利用埋在路段中线圈采集的车流量数

据, 分析出车流到达所服从分布;

(2) 利用路口 SCTAS 采集流量数据, 分析出车流离散所服从分布;

(3) 利用累计到达-离开交通量曲线计算总延误;

(4) 利用历史数据确定总延误阈值;

(5) 结合实时数据, 当计算得总延误值大于阈值时判断拥堵。

从线圈和 SCTAS 所采集的交通状况信息内容上可以看出, 其共同数据为车流量和饱和度。但 SCTAS 的饱和度定义为车辆所占用的绿灯时间与绿灯时长的比值, 而线圈的饱和度定义为在采集周期内车辆占用线圈时长与周期的比值。所以从本质上看两者的饱和度也不同, 这样能够用于对比分析的交通数据仅有车流量 (表 1)。

表 1 线圈与 SCATS 采集内容比较表

Tab. 1 Information collected by loops and scats

类别	采集周期	位置	信息内容
线圈	10 s、30 s 等, 可人工设置采集周期	离路口 100 m ~ 150 m	车流量
			平均车速
			车道占有率
			平均车头时距
			平均车头间距
SCATS	5 min、15 min, 可人工设置采集周期	路口停车线后 1 m	车辆长度
			车型
			车流量
			饱和度

* 收稿日期: 2007-04-19

基金项目: 城市交通综合仿真与分析系统开发和应用资助项目 (2006B14901004); 广东省道路交通安全保障与信息
发布平台 (智能交通科技创新平台) (2006B80414001)

作者简介: 全洪波 (1978 年生), 男, 研究助理; E-mail: quanhb@mail.sysu.edu.cn

2 车流到达/离散函数选择

由于不同特征的城市道路在不同时段交通流特性不同，为了保证算法所自动判断交通拥堵的准确性，因此要根据不同特征的城市道路在不同时段交通流特性而选择不同的车流到达分布及车流离散分布函数^[1-2]。

2.1 泊松分布

2.1.1 适用条件 车流密度不大，车辆间相互影响微弱，其他外界干扰因素基本上不存在，即车流是随机的。

2.1.2 基本公式

$$P(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad x = 0, 1, 2 \dots \quad (1)$$

式中： $P(x)$ 为在计数周期 t 内到达 x 辆车的概率； λ 为单位时间的平均到达率，辆/s； t 为每个计数周期的持续时间，s； e 为自然对数的底。

实际应用时，常采用下面的公式：

$$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \quad (2)$$

式中： $m = \lambda t$ 为在计数周期 t 内平均到达的车辆数。

2.1.3 参数估计 用泊松分布拟合数据时，参数 m 按下式计算：

$$m = \frac{\text{观测的总车辆数}}{\text{总周期数}} = \frac{\sum_{i=1}^g x_i f_i}{\sum_{i=1}^g f_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g x_i f_i \quad (3)$$

式中： g 为观测数据分组数； f_i 为周期 t 内到达 x_i 辆车这一事件发生的次（频）数； N 为观测的总周期数。

2.1.4 判别依据 泊松分布的数学期望 $E(x)$ 与方差 $Var(x)$ 是相等的，若 m 和 s^2 分别为其无偏估计，则当观测数据表明 s^2/m 显著地不等于 1.0 时，就表明泊松分布已不适用了。观测数据的方差 s^2 可按下式计算：

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g (x_i - m)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g (x_i - m)^2 f_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g f_i x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^g f_i x_i \right)^2 \quad (4)$$

2.2 二项分布

2.2.1 适用条件 车辆比较拥挤，自由行使机会不多的车流。

2.2.2 基本公式

$$P(x) = C_x^n \left(\frac{\lambda x}{n} \right)^x \left(1 - \frac{\lambda x}{n} \right)^{n-x} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

$$C_x^n = \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad (6)$$

实际应用时，常令 $p = \lambda t/n$ ，则公式为： $P(x) = C_x^n p^x (1-p)^{n-x} \dots \dots 0 < p < 1$

2.2.3 参数估计 用二项分布拟合观测数据时，参数 p 和 n 分别按下式计算：

$$p = \frac{m - s^2}{m} \quad (7)$$

$$n = \frac{m}{p} = \frac{m}{m - s^2}, \quad (\text{取整数}) \quad (8)$$

式中： m 和 s^2 分别由上述公式计算。

2.2.4 判别依据 由概率论可知，二项分布的数学期望 $E(x)$ 与方差 $Var(x)$ 分别为：

$$E(x) = np$$

$$Var(x) = np(1-p) \quad (9)$$

即 $Var(x)/E(x) = 1-p < 1$ 。若 m 和 s^2 分别为无偏估计，则当观测数据表明 s^2/m 大于 1.0 或接近 1.0 时，就表明二项分布已经不适用了。

2.3 负二项分布

2.3.1 适用条件 到达量波动较大的车辆，如距观测点很近的上游处有信号灯控制的交叉口，而计数周期又很短（短于绿灯相位长）时，则所得到的车辆到达数具有较大的方差而服从负二项分布。

2.3.2 基本公式

$$\begin{cases} P(0) = \left(1 + \frac{\lambda t}{\beta} \right)^{-\beta} \\ P(x) = \frac{x + \beta - 1}{x} \cdot \frac{\lambda t}{\beta + \lambda t} \cdot P(x-1) \dots \dots x \geq 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中： β 为负二项分布参数，取正实数。

2.3.3 参数估计 用负二项分布拟合观测数据时，参数 p 和 β 分别按下式计算：

$$p = \frac{m}{s^2}, \quad \beta = \frac{m^2}{s^2 - m} \quad (11)$$

式中： m 和 s^2 分别由上述公式计算。

2.3.4 判别依据 由概率论可知，负二项分布的数学期望 $E(x)$ 与方差 $Var(x)$ 分别为：

$$E(x) = \frac{\beta(1-p)}{p}, \quad Var(x) = \frac{\beta(1-p)}{p^2} \quad (12)$$

即 $\frac{Var(x)}{E(x)} = \frac{1}{p} > 1$ 。若 m 和 s^2 分别为无偏估计，则当观测数据表明 s^2/m 小于 1.0 或接近 1.0 时，就表明负二项分布已不适用了。服从负二项分布的车流其车辆到达的不均匀程度最高。

3 延误及排队长度计算函数选择

3.1 单车道函数

设车辆随机单个到达, 平均到达率为 λ , 则两次到达之间的平均间隔为 $1/\lambda$ 。从单车道的驶出率为 μ , 则平均服务时间为 $1/\mu$ 。比率 $\rho = \lambda/\mu$ 叫做交通强度或利用系数, 可确定各种状态的性质。如果 $\rho < 1$ (即 $\lambda < \mu$) 并且时间充分, 每个状态将循环出现。当 $\rho \geq 1$, 每个状态是不稳定的, 而排队的长度将会变得越来越长, 没有限制。因此, 要保持稳定状态即确保单通道排队能够疏散的条件是 $\rho < 1$, 即 $\lambda < \mu$ 。

平均排队长度:

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \rho \bar{n} \quad (13)$$

排队中的平均等待时间:

$$\bar{W} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \bar{d} - \frac{1}{\mu} \quad (14)$$

根据经验, 当交通强度 ρ 超过 0.8 时, 平均排队长度迅速增加, 状态变动范围和频度增长加快, 即不稳定因素迅速增长, 服务水平迅速下降^[1-2]。

3.2 多车道函数

多车道条件下分两种情况:

单路排队多车道服务: 指排成一个队等待数条通道服务的情况。排队中头一辆车可视哪个通道有空就到哪里接受服务。

多路多排队多通道服务: 指每个通道各排一个队, 每个通道只为其相对应的一队车辆服务, 车辆不能随意换队。这个情况相当于 N 个单通道服务系统。

对于多通道服务系统, 保持稳定状态的条件, 不是 $\rho < 1$, 而是 $\bar{\rho}/N < 1$ 。其中 $\bar{\rho}$ 为各通道 ρ 的平均值。现考虑各通道 ρ 值相等的情况则 $\bar{\rho} = \rho$ 。若令 λ 为进入系统中的平均到车率, 则对于单路排队多通道服务系统, 存在下列关系:

平均排队长度:

$$\bar{g} = \bar{n} - \rho \quad (15)$$

排队中的平均等待时间:

$$\bar{W} = \bar{g}/\lambda \quad (16)$$

4 拥堵判断算法选择方案

4.1 原则

- (1) 利用路段线圈进行路段单截面判断;
- (2) 利用路段 SCATS 进行单截面判断;

(3) 利用路段线圈数据与 SCTAS 数据相结合进行判断;

(4) 在同时布设有线圈与 SCTAS 的路段 (路口) 可采取三种方式结合判断的发布模式提高发布信息准确性。

4.2 方案选择

4.2.1 线圈单截面拥堵判断 通过线圈单截面进行拥堵判断主要是通过对历史数据的分析^[2], 确定对不同时刻不同情况下的交通流拥堵阈值, 将线圈实时采集的交通流数据与拥堵阈值进行对比, 从而分析道路的拥堵情况。

线圈采集的实时交通流数据分析包括: 数据与判断、数据预处理、计算交通特征参数等环节, 同时将实时交通流数据进行存储, 进而不断充实历史数据, 动态的对拥堵阈值进行修正。

4.2.2 SCTAS 路口判断拥堵 类似线圈单截面判断流程, 只是由于 SCATS 所采集交通参数与线圈的不同, 但判断原理及流程基本一致 (图 1)。

4.2.3 线圈与 SCATS 综合判断算法 将线圈与 SCATS 综合利用进行拥堵判断, 就是通过对路段线圈采集的数据进行分析, 匹配出符合车流到达函数, 另外通过对路口 SCATS 采集到的数据进行分析, 匹配除符合车流离散函数, 进而利用延误及排队长度计算函数对拥堵进行判断。

为了保证拥堵判断的准确性, 对线圈数据选择到达函数和利用 SCATS 数据选择离散函数这两个环节都要进行预判断、预处理及存储。

5 结语

目前, 城市道路交通拥堵情况日益严重, 造成城市道路拥堵的原因很多。但如果能够保障交通拥堵的及时发现与处理将大大减少城市交通拥堵的影响。因此, 有必要借鉴高速公路拥堵自动判断的算法, 结合城市道路网交通流的具体情况, 对城市道路进行拥堵的自动判断。

本文利用交通工程中对车流进行分类及延误计算的函数, 结合当前城市内大力建设的智能交通相关设施, 提出了相关的拥堵判断模式, 即将理论的数据模型应用于实践, 也将独立的系统联系起来以共同为城市交通管理服务。相信, 通过对城市道路拥堵自动判断算法的研究可以有效的将交通流采集系统与信号控制系统紧密的结合起来, 即为城市道路交通拥堵管理服务又节约了资金的投入。

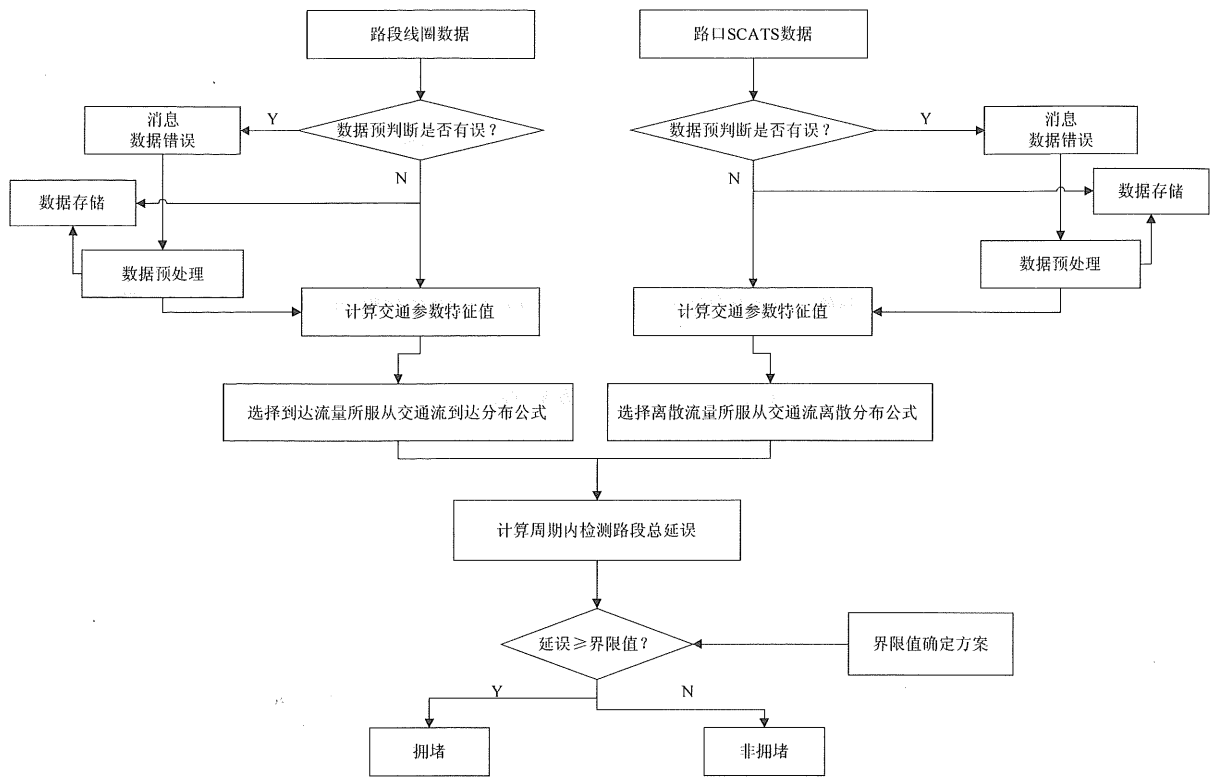


图 1 线圈与 SCATS 综合拥堵判断流程

Fig. 1 Flow chart of incident detection by using loop and Scats

参考文献:

[1] 杨兆升. 智能运输系统概论[M]. 北京:人民交通出版社,2003:35-96.

[2] 王伟,过秀成. 交通工程学[M]. 南京:东南大学出版社,2000:80-125.

[3] 徐学才,刘澜. 事件自动检测算法的比较及评估[J]. 交通科技与经济,2004(2):3-6.
XU Xuecai, LIU Lan. Comparative assessment of automatic incident detection algorithms[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2004, (2): 3-6.

[4] 谭光莉,姜紫峰. 高速公路事故自动检测算法的研讨[J]. 西安公路交通大学学报,1999(3):3-8.
TAN Guangli, JIANG Zifeng. Freeway automatic incident detection algorithm[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1999(3): 3-8

[5] 李智. 城市道路交通异常事件下的路线导行策略研究[D]. 同济大学道路与交通工程系,2000.

[6] 张云伟,刘跃明. 交通事件检测的一种滤波算法[J]. 云南工业大学学报,1998(4):2-5.
ZHANG Yunwei, LIU Yueming. A method of traffic incident detection through filtering[J]. Journal of yunnan Polytechnic University, 1998(4): 2-5.

[7] 杨耀华,李昕. 高速公路事件检测系统及算法[J]. 公路交通科技,2003,20(3):1-5.
YANG Yaohua, LI Xi. Freeway automatic incident detec-

tion algorithm[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(3): 1-5.

[8] 姜紫峰,刘小坤. 基于神经网络的交通事件检测算法[J]. 西安公路交通大学学报,2000,20(3):2-6.
JIANG Zifeng, LIU Xiaokun. Artificial neural network (ANN) algorithm for traffic incidents detection[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2000, 20(3): 2-6.

[9] 史新宏,蔡伯根. 高速公路事件自动检测算法[J]. 交通运输系统工程与信息,2001,11(1):1-5.
SHI Xinhong, CAI Bogen. Freeway automatic incident detection algorithm[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and information Technology, 2001, 11(1): 1-5.

[10] 周申培,严新平. 信息融合技术在交通流量预测中的应用[J]. ITS 通讯 2005(3):2-41.
ZHOU Shenpei, YAN Xinping. An application of information fusion technology in the prediction of road traffic parameters[J]. Intelligent Transportation Systems, 2005(3): 2-41.

[11] 姜桂艳. 道路交通状态判别技术与应用[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

[12] 皮晓亮,杨晓光,孙亚. 基于环形线圈检测器采集信息的交通状态分类方法应用研究[J]. 华东公路, 2006(1):4-6.
PI Xiaoliang, YANG Xiaoguang, SUN Ya. Application research of traffic state classify method based on collected

- information from loop detector[J]. East China Highway, 2006(1):4-6.
- [13] MUSSA Renatus N. Evaluation of driver-based freeway incident detection[C]. ITE Journal, March 1997:33-40.
- [14] STEPHANEDES Yorgos J, LIU Xiao. Artificial neural networks for freeway incident detection[C]. Transportation Research Record 1494 TRB. Washington D C; National Research Council, 1995:91-97.

Analyse of Automatic Incident Detection Algorithm for Urban Road

QUAN Hong-bo, CHEN Rui-xiang

(Research Centre of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Compared with expressway, most of the traffic flow in urban road network can be denoted as interrupted traffic flow. Based on the currently employed equipment for traffic flow collection and traffic signal control in urban roads, different types of traffic flow in urban roads is analysed with the traffic flow arrival/departure model in transportation engineering. Mathematical models complying with traffic flow changes are utilized to match the traffic flow in both entry and exit road blocks, thus enabling the automatic detection of traffic incident. This algorithm serves as a measure for the automatic judgement of urban road congestion and the expansional utility of intelligent transportation facilities in urban areas.

Key words: urban road; incident detection; arriving/departing function; delay



(上接第 41 页)

Research on Optimization Model for Guide Sign Planning Based on Straying Index

XIAO Guo-rong, YU Zhi, HUANG Min

(Research Centre of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Straying index was adopted to evaluate quantitatively the effect of planning scheme of guide sign's installation to reduce the cost of transportation, help road users make better route choice, and improve the conditions that guide sign planning in the past was done qualitatively more than quantitatively, limited to single junction and subject to individual experience of the planner. An optimization model considering the weightiness of different OD pairs was also proposed to get the optimum road sign planning scheme. Application shows that the planning scheme provided by the model was able to give more effective guidance information to road users.

Key words: guide sign; straying index; traffic assignment; optimization model