

文章编号: 0451-0712(2005)12-0116-04

中图分类号: U491.123

文献标识码: A

基于入口匝道控制的面向需求的 城市高速公路控制策略

许伦辉¹, 刘文亮², 李智慧³

(1. 韶关学院 韶关市 512000; 2. 江西理工大学 赣州市 341000; 3. 河南工业大学 郑州市 450052)

摘 要: 通过对现有城市高速公路入口匝道控制策略分析, 提出了一种使城市高速公路入口匝道处的排队车辆中具有优先行驶权的车辆优先驶入城市高速公路的控制方法。建立了这种控制方法的算法, 并给出一个算例。

关键词: 城市高速公路; 入口匝道; 控制策略; 面向需求; 优先权

随着我国经济的快速增长和城市规模不断扩大, 城市交通需求也在急剧增加, 城市高速公路在承担城市与城市之间、城市与郊区之间的运输方面, 发挥着越来越重要的作用。然而, 由于交通供需矛盾日益突出, 城市高速公路时常出现交通堵塞现象。目前我国城市的机动车拥有量正以每年超过 15% 的高速率增长, 而相应城市道路的增长率则仅为 3% 左右, 经济的高速发展、城市化进程的加快和机动车拥有量的高速增长, 给我国的城市交通基础设施带来巨大的压力, 也是造成城市高速公路交通堵塞的重要原因。因此合理的城市高速公路控制策略在交通管理上发挥着越来越重要的作用。

随着社会的进步, 人们对交通网络处理日常和偶发性交通问题的应变能力提出了更高的要求, 要求交通网络能够保证重要来宾的车辆行驶顺畅, 保证交通事故、地震和火灾等事故发生后救援车辆能顺利到达事故地点, 以及具有优先行驶权的车辆能优先畅通行驶。目前关于城市高速公路入口匝道控制的研究成果^[1~3], 大都是通过监测或预测主线上的交通需求来控制城市高速公路入口匝道处进入主线的车辆, 却没有考虑入口匝道处车辆对城市高速公路优先使用权的需求。基于入口匝道控制的面向需求的城市高速公路控制策略就是在上述城市高速公路交通需求的基础上提出来的。

1 现有高速公路入口匝道控制方法分析

国外高速公路和城市快速路的交通建模与控制始于 20 世纪 50 年代, 美国早在 20 世纪 60 年代就开始在芝加哥 Congress Street (现 Eisenhower) 城市高速公路实施入口匝道控制。目前国内外普遍采用的入口匝道控制方式主要有以下几种: 匝道关闭、匝道定时调节、匝道感应调节和匝道整体控制。

一般而言, 匝道控制不采用关闭的方式, 关闭匝道会引起车辆极大的不便。当交通流在一段时间内波动不大时, 定时调节十分有效, 但它无法应付交通量无规律的匝道口和偶发事件引起的拥挤。匝道感应调节是以实时检测到的交通数据为依据来确定入口匝道调节率的, 可适应交通流随机变化。若整条道路或整个路网交通量很大时, 采用匝道整体控制会获得更好的系统运行效果。

总之, 以往的城市高速公路入口匝道的控制原则都是在保证驶入城市高速公路的交通流不大于城市高速公路需求的前提下, 实施先进先出 (FIFO) 的控制策略。所以, 以往的常规控制策略不能满足具有优先行驶权的车辆 (如公交车) 先行的控制目标。

2 基于入口匝道控制的面向需求的城市高速公路控制策略及其算法

2.1 面向需求的概念

以上各种常规的城市高速公路控制方式都是基于城市高速公路交通需求的基础下的控制策略,没有考虑行驶车辆对城市高速公路需求的条件。面向需求的城市高速公路入口匝道控制策略不但考虑了城市高速公路的交通需求,而且能满足行驶车辆对城市高速公路优先使用的需求。

本文中的面向需求的含义为:当多种类型的车辆在入口匝道排队等候时,能够满足具有城市高速公路优先使用权的车辆(如公交车、合乘车等)优先驶入城市高速公路的需求。

2.2 入口匝道结构特点

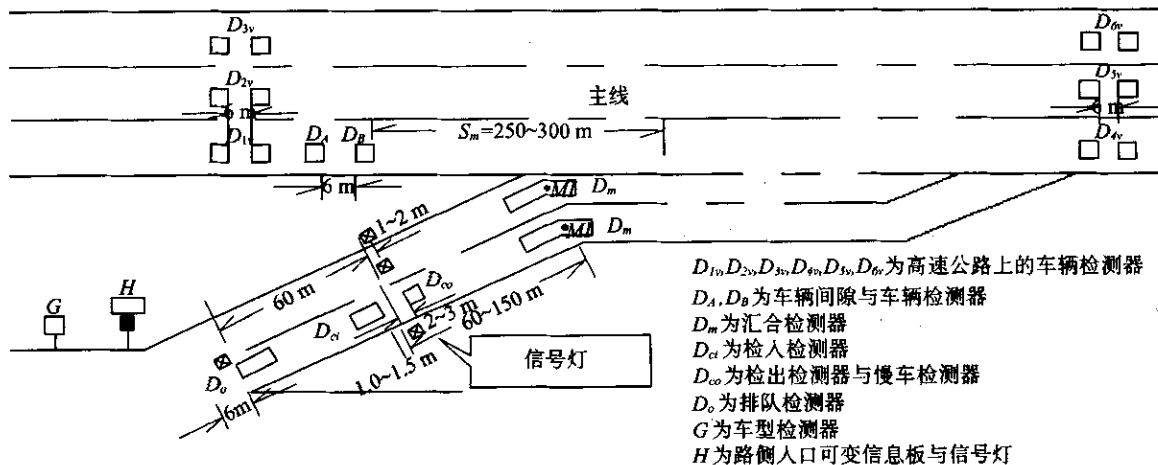


图1 面向需求的城市高速公路入口匝道结构

2.3 基于入口匝道控制的面向需求的城市高速公路控制算法

2.3.1 路段的通行能力的确定

在进行城市高速公路入口匝道控制时必须考虑城市高速公路通行能力的约束。为了达到既充分发挥城市高速公路效能又不产生拥挤的目的,通常采取拥挤之前的最大流量作为通行能力。下面分别给出公路交通空间平均速度与交通密度和流量与密度之间的关系^[4]。

(1) 空间平均速度与交通密度之间的关系:

$$v(k) = v_f \exp \left[-\frac{1}{a} \left(\frac{k}{k_{cr}} \right)^a \right]$$

(2) 流量与密度之间的关系:

$$q = kv = v_f k \exp \left[-\frac{1}{a} \left(\frac{k}{k_{cr}} \right)^a \right]$$

当 $k = k_{cr}$ (临界密度) 时, q 取最大值 q_{\max} , 即为通行能力。所以:

$$q_{\max} = v_f k_{cr} e^{-\frac{1}{a}}$$

从图1看出基于入口匝道控制的面向需求的城市高速公路控制方式的入口匝道结构与常规控制方式下的入口匝道结构有明显的不同。在本文的控制方式下要求入口匝道设计成两路,停放两种优先级不同的车辆(若优先级别增多,设计成多路)。车辆的优先级别由安装在入口匝道前的车型优先级别检测器识别出来,并由路侧的可变信息板引导优先级不同的车辆停在优先级别不同的车辆排队处。在对入口匝道进行调节时,行驶优先权较高的车辆优先驶入城市高速公路。

其中 v_f 为 $k=0$ 时候的速度(自由速度)。于是交通流量 q 应满足的约束条件为:

$$0 \leq q \leq v_f k_{cr} e^{-\frac{1}{a}}$$

参数 v_f, k_{cr}, a 需根据实际道路交通检测数据加以估计。

在交通高峰时段,某些路段交通需求可能超过其通行能力。这时应实行入口流量控制,保持 $k = k_{cr}$, 保持较高流量和较高车速,达到指标函数最优,交通拥挤也就避免了。

2.3.2 面向交通需求的城市高速公路控制策略的入口匝道调节算法

根据不同的优化性能指标,就会有不同目标函数,从而确定不同的入口匝道调节算法。其中较常用的性能指标有两种^[5]: 驶入流率最大性能指标,即城市高速公路主线行驶时间与入口排队时间总和最小,是最常用的一种性能指标;运行率最大性能指标,即城市高速公路主线所有车辆行驶总里程(车辆公里数)最大。

本文采用基于城市高速公路优先使用权车辆下驶入流率最大性能指标,达到保证优先级别高的车辆先行,使城市高速公路运行在最优状态。

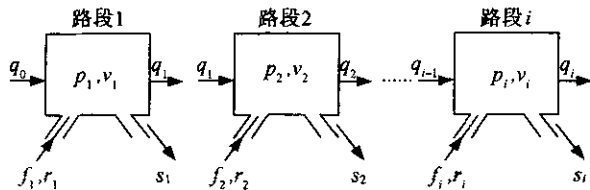


图2 城市高速公路进、出口示意

每个入口匝道有两路驶入城市高速公路的通道,其中 f_i 为优先级别高的车流量; r_i 为优先级别低的排队车辆调节率; s_i 为各个出口流量。由车流量守恒可得:

$$q_i = q_{i-1} + f_i + r_i - s_i, (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$\text{其中 } q_j = \sum_{i=1}^j r_i a_{ij} + \sum_{i=1}^j f_i a'_{ij}, (j = 1, 2, \dots, N)$$

a_{ij} 表示有第 i 个路口驶入,并且驶入第 j 个路口的比率, $0 \leq a_{ij} \leq 1$ 。

流入交通行驶车公里最大目标函数:

$$\max \sum_{i=1}^N r_i + f_i$$

约束条件为:

$$\sum_{i=1}^j r_i a_{ij} + \sum_{i=1}^j f_i a'_{ij} < q_{\max} = v_f k_c e^{-\frac{1}{a}}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$r_{i\min} \leq r_i + f_i \leq r_{i\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$r_{i\min}, r_{i\max}$ 为入口匝道最小、最大调节率。

3 算例

如图3所示为一段有4个入口,3个出口的城市高速公路平面图。

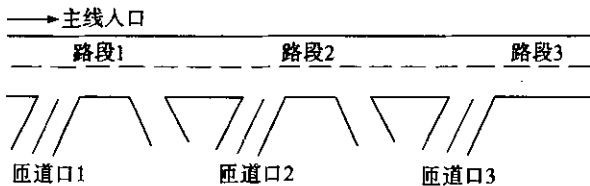


图3 3个入口匝道的城市高速公路示意

假设临界密度 $p_c = 32$ 车/km/每车道,自由速度 $v_f = 98$ km/h,指数 $a = 2$,根据式子: $q_c = N v_f p_c e^{-\frac{1}{a}}$ 计算其通行能力,得每车道通行能力为1 880 辆/h,为留有余地,取通行能力为1 600,即266 辆/10 min/单车道,533 辆/10 min/双车道^[5]。匝道最小调节率为

240 辆/h,即40 辆/10 min,最大调节率为960 辆/h,即160 辆/10 min。

设主线交通需求为 r_0 ,匝道入口 i 优先行驶车辆交通需求为 d_{fi} (假设 $d_{fi} < 160$ 辆/10 min),一般车辆交通需求为 d_{ri} ,路段 i 的交通量为 $q_i, i = 1, 2, 3$,相邻入口匝道口之间的行车时间平均为0.5 h。交通流时间分布如表1。

表1 交通流时间分布

时间	r_0	d_{f1}	d_{r1}	d_{f2}	d_{r2}	d_{f3}	d_{r3}
8:30~8:40	300	70	70	60	96	60	80
8:40~8:50	330	60	80	50	88	58	70
8:50~9:00	350	70	100	65	90	54	63
9:00~9:10	380	68	100	60	80	55	78
9:10~9:20	400	55	80	50	85	45	75
9:20~9:30	360	60	90	60	80	42	72
9:30~9:40	340	50	90	50	80	40	70
9:40~9:50	330	60	100	45	66	35	65
9:50~10:00	280	60	100	58	78	42	70
10:00~10:10	—	—	—	40	80	42	70
10:10~10:20	—	—	—	70	80	40	68
10:20~10:30	—	—	—	70	70	44	68
10:30~10:40	—	—	—	—	—	40	68
10:40~10:50	—	—	—	—	—	40	50
10:50~11:00	—	—	—	—	—	50	60

假设8:30以前城市高速公路中的交通量为零。由匝道口1进入的交通流经过0.5 h,到达匝道口2并对其调节率产生影响,再过0.5 h到达匝道口3并对其调节率产生影响。用同样的分析方法分析匝道口2、3之间的影响。

r_0, f_1, r_1 在8:30~8:40, f_2, r_2 在9:00~9:10, f_3, r_3 在9:30~9:40的驶入流OD矩阵为:

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0.95 & 0.90 \\ 1 & 0.85 & 0.80 \\ 1 & 0.95 & 0.90 \\ 0 & 1 & 0.90 \\ 0 & 1 & 0.85 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

在优先行驶车辆先行的情况下,采用最大驶入流率性能指标。

求得下面线性规划问题:

$$\max Z = r_0 + f_1 + f_2 + f_3 + r_1 + r_2 + r_3$$

约束条件为:

$$\text{s. t.} \begin{cases} r_0+f_1+r_1\leqslant 533 \\ 0.95r_0+0.85f_1+0.95r_1+f_2+r_2\leqslant 533 \\ 0.90r_0+0.80f_1+0.90r_1+0.90f_2+0.85r_2+f_3+r_3\leqslant 533 \\ r_0=300,f_1=70,f_2=60,f_3=40 \\ r_1\leqslant 70 \\ r_2\leqslant 80 \\ r_3\leqslant 70 \\ 40\leqslant r_1+f_1\leqslant 160,40\leqslant r_2+f_2\leqslant 160,40\leqslant r_3+f_3\leqslant 160 \end{cases}$$

经计算得到最优解为:
 $r_0=300,f_1=70,r_1=50,f_2=60,r_2=80,f_3=40,r_3=0$

则:8:30~8:40, $q_1=r_0+f_1+r_1=420,r_1$ 绕行 20;
9:00~9:10, $q_2=0.95r_0+0.85f_1+0.95r_1+f_2+r_2=533$;
9:30~9:40, $q_3=0.90r_0+0.80f_1+0.90r_1+0.90f_2+0.85r_2+f_3+r_3=533,r_3$ 全部绕行,绕行 70。

运用面向交通需求的城市高速公路入口匝道调节算法求出各时间段不同入口匝道的调节率如表 2。

表 2							
时间	r_0	f_1	r_1	f_2	r_2	f_3	r_3
8:30~8:40	300	70	50	60	96	60	80
8:40~8:50	330	60	80	50	88	58	70
8:50~9:00	350	70	90	65	90	54	63
9:00~9:10	380	68	85	60	80	55	78
9:10~9:20	400	55	78	50	62	45	75
9:20~9:30	360	60	87	60	0	42	72
9:30~9:40	340	50	90	50	31	40	0
9:40~9:50	330	60	78	45	29	35	61
9:50~10:00	280	60	100	58	0	42	0

若按常规的城市高速公路入口匝道调节算法,即:不区分车辆行驶优先权,只考虑最大驶入流率性能指标的算法,得出的匝道口调节率如表 3。

运用以往的城市高速公路入口匝道控制方法时,驶入高速公路的高优先级别的车辆是随机的,即有可能要排队等待很长的时间,这是不符合现代的交通管理要求的。

结论:对比于常规的城市高速公路入口匝道控制方法,运用面向交通需求的城市高速公路入口匝

表 3				
时间	r_0	r_1	r_2	r_3
8:30~8:40	300	140	156	140
8:40~8:50	330	140	138	128
8:50~9:00	350	170	155	117
9:00~9:10	380	153	122	133
9:10~9:20	400	133	112	120
9:20~9:30	360	150	56	114
9:30~9:40	340	140	83	38
9:40~9:50	330	160	76	98
9:50~10:00	280	160	63	34

道调节算法不仅能够使城市高速公路运行在最大驶入流率性能指标最优的状态下,而且也保证了具有优先行驶权的车辆优先使用城市高速公路,这样就提高了城市高速公路运行的社会效益。

4 结语

在城市高速公路控制中运用基于入口匝道控制的面向需求的城市高速公路控制策略能使城市高速公路运行在某指标最优状态下,同时能满足具有优先使用城市高速公路的车辆(如公共汽车)优先驶入城市高速公路的需求,避免重要车辆过长的排队时间。这种控制思想与方法能够使城市高速公路产生更大的社会价值。但是由于城市高速公路交通流的动态性、随机性,若将该算法用于实际交通控制当中,需要引入适当的修正。

参考文献:

[1] 杨晓光. 考虑进出口匝道排队约束的城市快速道路交通系统动态控制方法[J]. 西安公路交通大学学报, 1999,19(2).

[2] Papageorgiou M, Blosseville J M. Modelling and real time control of traffic flow on the southern part of Boulevard Peripherique in Paris. Transportation Research, 1990 , 24A(5).

[3] 谭满春,徐建闽,毛宗源. 高速公路入口匝道的模糊逻辑控制[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),1999,27(8).

[4] 周商吾,郭冠英,徐慰慈. 交通工程[M]. 上海: 同济大学出版社, 1987.

[5] 荆便顺,赵永进. 高速公路最大运行流率稳态入口控制策略的研究[J]. 西安公路学院学报,1994,14(3).

文章编号: 0451-0712(2005)12-0120-05

中图分类号: U491.116

文献标识码: B

高速公路交通流数据检测技术

王 富, 熊烈强, 李 杰

(武汉工业学院交通研究所 武汉市 430023)

摘 要: 结合应用实践,介绍了现代交通流检测技术——视频检测技术、磁映像技术、橡胶气压管传感器技术和远程微波传感器技术的工作原理及在高速公路交通流检测中的应用,对每种检测设备的适用条件、安装要求进行详细论述。并以MetroCount 5600 车辆分型统计系统的Traffic Executive 交通量管理软件为例,对高速公路的交通流参数关系进行分析。实践证明,以上4种检测技术能为高速公路交通流特性研究提供所有交通流参数,为高速公路交通流特性研究提供有力的数据支持。

关键词: 交通流检测; 高速公路; 交通流特性; 交通流参数

交通数据检测在公路建设、隧道桥梁建设以及交通流的基础理论研究中占有很重要的位置,它对现代交通科学管理和决策起到了重要的辅助和量化作用。随着现代检测技术的出现和不断发展,交通流数据的检测更加灵活、方便,设备的安装更加简单、安装条件不断降低,性能更加稳定,采集数据的精度不断提高。目前比较成熟的交通数据检测技术有视频检测技术、磁映像技术、橡胶气压管传感器技术和远程微波传感器技术,各种检测技术的代表产品有VideoTrace™ VT2100R 视频检测系统和Autoscope—2004 视频检测系统、NC—97 袖珍交通流量计、MetroCount 5600 车辆分型统计系统和RTMS 远程交通微波传感器。4种检测技术的性能比较见表1。

文章结合交通流数据实地检测经验,介绍4种典型仪器的工作原理和安装使用技巧。

1 4种检测技术的工作原理

(1) 远程微波传感器技术^[1]。

远程微波传感器(RTMS)是一种用于监测交通状况的再现式雷达装置。它可以测量微波投影区域内目标的距离,通过距离来实现对多车道的静止车辆和行驶车辆的检测。

在进行车辆检测时,RTMS 接收到微波投影区域内各种表面的连续不断的回波,如人行道、栅栏、车辆以及树木等。在每一个微波层面内的固定物体回波信号将形成背景阈值,如果回波信号的强度高

收稿日期: 2005-07-18

A Demand-Oriented Control Strategy for Urban Expressways Based on Entering Ramps

XU Lun-hui¹, LIU Wen-liang², LI Zhi-hui³

(1. Shaoguan University, Shaoguan 512000, China; 2. Jiangxi Science and Technology University, Ganzhou 341000, China
3. He'nan Industrial University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The on-ramp control strategy of traditional urban expressways is summarized, and a new on-ramp control strategy of urban expressways brought out. The new strategy can allow the vehicles with urban expressway priority to drive into urban expressways earlier. An example is also presented in this paper according to the new arithmetic.

Key words: urban expressway; on-ramp; control strategy; demand-oriented; priority