

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2018.10.014

基于离散多项 Logit 模型的多时段控制 过渡方案选择

姚 佼, 张凯敏, 徐洁琼

(上海理工大学 管理学院 上海 200093)

摘要: 过渡方案可有效降低多时段控制方案间切换对交通流造成的扰动, 对多时段控制策略的效益有显著影响。研究首先对多时段过渡方案选择的流程进行了分析, 选取多项 Logit 模型进行多时段过渡方案选择的判断; 其次, 通过选择集、特征变量、效用函数选取等步骤, 利用经典的 3 种平滑过渡方案作为选择集, 选取车均延误、该时段干道流量、过渡所需时长作为特征变量进行参数标定, 以立即过渡、两周期过渡、三周期过渡 3 种经典的多时段平滑过渡方案为例, 建立了多时段控制过渡方案的离散多项 Logit 选择模型, 在效用最大理论的前提下进行概率计算并利用极大似然法对模型的参数进行了估计和检验; 最后, 选取江苏省苏州市滨河路干道沿线协调范围内交通流状态稳定且呈现较明显的时间规律的 4 个关键交叉口作为研究对象, 以 3 种平滑过渡方案对控制效益影响最大的晚低峰切换至早高峰的过渡方案对微观交通仿真进行了分析, 在早高峰即将到来时, 由方案 1 切换至方案 2 的过渡过程中, 立即过渡方案的车均延误最低, 其次为两周期过渡方案, 三周期过渡方案车均延误最大。结果表明立即过渡方案的控制效果最佳, 进而通过本研究的模型分析, 案例交叉口亦分别有 50.77%, 56.72%, 46.88%, 47.00% 的概率选择立即过渡方案, 与仿真结果一致, 表明模型具有很好的适用性。

关键词: 交通工程; 过渡方案; 离散多项 Logit 模型; 多时段控制; 效用函数

中图分类号: U491.54

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2018)10-0104-07

Multinomial Logit Model Based Time-of-day Control Transition Scheme Selection

YAO Jiao, ZHANG Kai-min, XU Jie-qiong

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Transition scheme can effectively reduce disturbance to traffic flow caused by time-of-day (TOD) control scheme switch, which has significant influence on control efficiency of the TOD strategy. First, the flowchart of TOD transition scheme selection is analyzed, and the multinomial Logit model is selected for judging the choice of TOD transition schemes. Furthermore, through the steps such as selecting choice set, characteristic variables and utility function, using 3 classical smooth transition schemes as a choice set, average vehicle delay, traffic flow of the main road during this period, and time required for the transition as the characteristic variables are selected for parameter calibration. Taking 3 classical TOD smooth transition scheme (immediate transition scheme, 2-cycle transition scheme and 3-cycle transition scheme) for examples, a discrete multinomial Logit model for TOD transition scheme selection is established. The probability calculation is conducted under the premise of maximum utility theory, and the model parameters are estimated and verified with the maximum likelihood method. Finally, 4 key intersections with stable

收稿日期: 2017-05-18

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJCZH225); 上海理工大学人文社科“攀登计划”项目(SK18PB03); 上海理工大学人文社会科学研究基金项目(SK17YB05)

作者简介: 姚佼(1982-), 男, 山西芮城人, 副教授。(yaojiao@126.com)

traffic flow and obvious time patterns in the coordinated area along the main road of Binhe Road in Suzhou City, Jiangsu Province are selected as the research objects. The transition scheme which has the most influence on control benefits in the 3 smooth transition schemes is analyzed in the period from evening valley to morning peak in the micro traffic simulation. The immediate transition scheme shows that when the early peak is approaching, during the transition period from scenario 1 to scenario 2, the average delay of the immediate transition scheme is the lowest, followed by the 2-cycle transition scheme, and the average delay of the 3-cycle transition scheme is the highest. The result of model analysis shows that for 4 typical intersections, there are also the probabilities of 50.77%, 56.72%, 46.88%, and 47.00% respectively to select immediate transition scheme as the optimal transition, which is in accordance with the simulation result, and means the proposed model has good applicability.

Key words: traffic engineering; transition scheme; discrete multinomial Logit model; time-of-day control; utility function

0 引言

在干道协调控制中,无论是采用全天多时段控制策略还是采用感应式的协调控制策略,交通流都会由于突然的方案切换而产生一定的扰动。这种由方案过渡对交通流的扰动造成的影响虽是暂时的,但却会导致通行效率的急剧下降。考虑到路网和交通流的连续性特点,一旦遇上交通流量较大的早晚高峰时期,可能造成糟糕的连环影响。因此,需要在方案切换期间采用信号过渡策略,以减小方案的突然切换给交通流量带来的扰动。

目前,信号过渡方面的研究大致可分为两方面,即模型优化过渡与平滑过渡策略。在模型优化过渡方面, Lee 等人通过研究,提出了一种非线性数学模型,通过在过渡方案中对相位差、周期、绿灯相位的调整以达到延误最小化的目标,并采用方差分析和统计分析进行了多重对比试验^[1]; Quinto 等人通过对复杂协调控制情况下网格状路网中不同过渡方案的研究,进行 4 种场景的建模和仿真,并对不同协调情况下的过渡方案表现进行了研究分析^[2]; 卢凯等对交通信号协调控制方案的过渡优化算法进行了研究,通过建立信号控制方案过渡前后的交叉口相位差调整量关系方程组,利用交叉口相位差调整比例的极大极小原理,提出单周期对称调节过渡算法和 N 周期加权调节过渡算法^[3]。

平滑过渡方面, Obenberger 等人通过对平滑过渡策略的研究,提出了一种评价过渡策略的改进方法,并设计了一种包含围观仿真模型和信号控制器的“软件在环”仿真工具^[4]; Shelby 等通过对经典的几种过渡方法如 Add, Maxwell, Dwell 等进行了不同交通状态下的比较与评价,为不同拥堵水平下获得最

小车均延误方案的选择提出建议,并介绍了一种基于当前交通条件的动态选择有效过渡方法的策略^[5]; Kevin N. Balke 等对信号配时过渡方案的选择在交通感应信号系统中的影响进行了总结性研究^[6]; 栗红强等针对干道交通的多时段控制过渡提出了新的优化方法;该算法在以 Dwell 法和 Shortway 法为代表的实际方法的基础上,提出通过改进周期长度和补偿时间的算法以实现信号的快速平滑过渡^[7-8]; 郭海峰等在结合了模型优化和过渡时间平滑特性的基础上,提出一种基于最佳相位差调整量控制方案的快速平滑过渡方法^[9]。

优化模型的求解方面,研究成果大多模型结构复杂,实行效率较低,不适合大范围运用于我国城市交通控制当中;平滑过渡方法虽然应用较广,但现有的研究尚未给出一套针对特点的交通场景下进行过渡策略选择的方法。在实际操作中,具体的过渡方案选择主要依赖于交通工程师或研究学者的判断。

本研究针对不同时段和交通状况的需求,对历史数据进行及时的修补和更新^[10],提出了一种快速选择多时段过渡方案的选择模型。首先,进行特征变量及选择集选取;其次,在此基础上进行及效用函数的计算和参数估计,进行多项 Logit 模型概率计算及参数检验,若满足置信水平要求,则进行交叉口过渡仿真试验,否则重新进行选择集或参数提取,若仿真试验表明本研究模型计算得到最大概率的过渡方案,控制效益最好,则过渡方案选择结束,否则返回效用函数计算,详细流程如图 1 所示。

1 过渡方案选择模型

离散选择模型为计量经济学中常用的决策问题

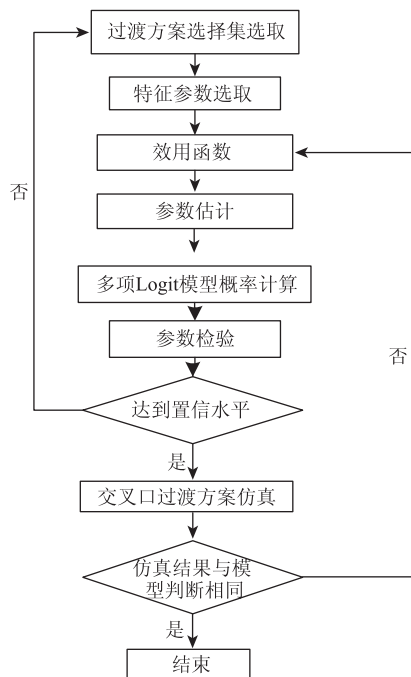


图 1 过渡方案选择的流程图

Fig. 1 Flowchart of transition scheme selection

解决模型^[11], Logit 模型作为最早的离散选择模型, 因求解简单, 被广泛应用, 在此基础上, 多项 Logit 模型、嵌套 Logit 模型、混合 Logit 模型得以发展^[12], 包含于其中的多项 Logit 模型主要适用于对选择某种方案的概率与决策因素的特征变量之间的关系研究^[13]。利用这一特点, 本研究主要考虑多时段过渡中, 不同方案被选择的概率与交通环境各参数的因素变化之间的关系以进行多时段过渡方案选择^[14]。

1.1 选择集及特征变量选取

目前, 平滑过渡方法是目前广泛集成应用于城市交通控制平台上的主要方法, 该方法适用范围广, 可灵活运用于感应控制、多时段定时控制。对于多时段过渡方案的选择模型的选择集, 即离散选择模型的因变量中包含的元素, 根据参考文献 [5], 主要包括以下 3 个: 立即过渡方案、两周期过渡方案、三周期过渡方案。各方案特征如下:

(1) 立即过渡方案

立即过渡方案采用的是简单的 Dwell 算法, 该策略保持主干道在方案过渡时期绿灯一直亮起, 直至与下一方案同步, 原理如图 2 所示。

(2) 两周期过渡方案

两周期过渡方案利用 2 个周期进行不同方案的相位差调整: 第 1 个周期增加 $2/3$ 的校正时间, 第 2 个周期增加剩下的 $1/3$ 。原理如图 3 所示。

(3) 三周期过渡方案

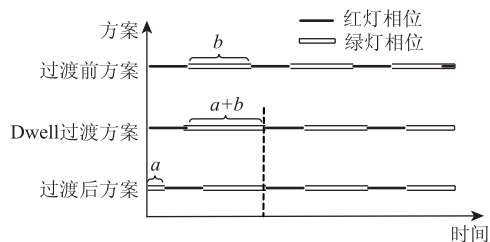


图 2 Dwell 过渡方法原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of principle of Dwell transition method

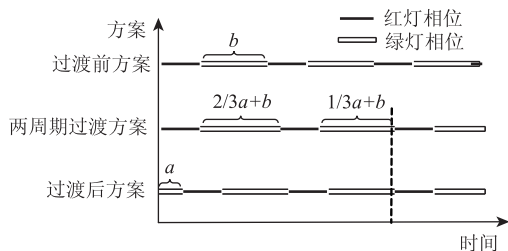


图 3 两周期过渡方案原理

Fig. 3 Schematic diagram of principle of 2-cycle transition scheme

三周期过渡方案跨越 3 个周期: 第 1 个周期增加 $1/2$ 的校正时间, 第 2 周期增加 $1/3$, 第 3 周期增加剩下的 $1/6$ 。原理如图 4 所示。

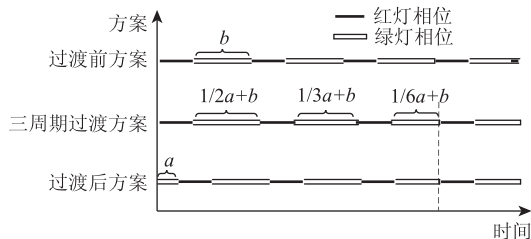


图 4 三周期过渡方案原理

Fig. 4 Schematic diagram of principle of 3-cycle transition scheme

根据决策者在进行多时段过渡方案选择时的考虑因素, 假设决策者仅依据当时的交通特征情况做出方案选择判断, 不受个人因素干扰, 选取特征变量如表 1 所示。

表 1 过渡方案选择模型特征变量

Tab. 1 Characteristic variables of transition scheme selection model

过渡方案	车均延误	该时段干道流量	过渡所需时长
立即过渡	x_{i11}	x_{i12}	x_{i13}
两周期过渡	x_{i21}	x_{i22}	x_{i23}
三周期过渡	x_{i31}	x_{i32}	x_{i33}
待估参数	δ_1	δ_2	δ_3

1.2 极大似然估计

采用极大似然估计法对多项 Logit 离散选择模型进行参数估计^[15]。假设决策者 i 对方案 j 的选择 y_{ij} 有如下取值 (见表 2):

表 2 特征参数取值

Tab. 2 Characteristic variable values

y_{ij}	定义
0	决策者 i 未选择方案 j
1	决策者 i 选择方案 j

则对于给定的样本, 构建似然函数如下:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J P_i^{y_{ij}}, \quad (1)$$

式中, β 为特征变量系数; $L(\beta)$ 为似然函数, 即所有被决策者选中的方案概率之积; $P_i^{y_{ij}}$ 代表第 i 个决策者选择所有方案的概率之积。

则式 (1) 的对数似然函数为:

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij} (\beta x_{ij} - \ln \sum_{j=1}^J e^{\beta x_{ij}}), \quad (2)$$

式中 x_{ij} 为第 i 个决策者选择方案 j 的特征变量。

对于 β 求偏导, 得到:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_k} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij} \left(x_{ijk} - \frac{x_{ijk} \sum_{j=1}^J e^{\beta_k x_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_k x_{ij}}} \right) = 0, \quad (3)$$

式中, β_k 为第 K 个特征变量的系数值; x_{ijk} 为决策者 i 选择方案 j 的第 k 个特征变量。

进一步求二阶偏导, 得到:

$$\frac{\partial^2 \ln L}{\partial \beta_k \partial \beta_l} = - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_i [x_{ijk} - \sum_{j=1}^J x_{ijk} P_j] [x_{ijl} - \sum_{j=1}^J x_{ijl} P_j], \quad (4)$$

式中, $k, l = 1, 2, \dots, K$; β_l 为第 l 个特征变量的系数值; P_j 为决策者选择方案 j 的概率; x_{ijl} 为决策者 i 选择方案 j 的第 l 个特征变量值。最后, 利用牛顿迭代法得到方程组的解, 及参数的估计量。

1.3 效用函数

离散选择模型的常见效用函数表达式如下:

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad (5)$$

式中, U_{ij} 为决策者 i 选择了 j 方案时获得的效用; V_{ij} 为可衡量的效用, 即固定效用, 由可观测得到的特性变量进行计算; ε_{ij} 为不可衡量效用, 可视为随机的误差项。

不同的过渡方案选择会对多时段控制信号策略产生不同的效用, 在给定自变量的情况下, 决策者自然会倾向于选择效用最大化的方案。根据 1.2 节

对效用函数的讨论, 结合多时段过渡方案决策, 给出效用函数如式 (6) 所示:

$$V_{ij} = \sum_{r=1}^R \delta_r x_{ijr}, \quad (6)$$

式中, x_{ijr} 为导致信号过渡方案决策者 i 选择第 j 种方案的第 r 个变量值; δ_r 为估计参数, 其他符号意义与上节相同。为了计算便捷性, 式 (6) 假设固定效用与特性变量呈线性关系^[16]。

因此, 针对因变量被选择方案, 即立即过渡方案、两周期过渡方案、三周期过渡方案的效用函数如:

立即过渡:

$$V_{i1} = \delta_1 x_{i11} + \delta_2 x_{i12} + \delta_3 x_{i13} + \eta_1; \quad (7)$$

两周期过渡:

$$V_{i2} = \delta_1 x_{i21} + \delta_2 x_{i22} + \delta_3 x_{i23} + \eta_2; \quad (8)$$

三周期过渡:

$$V_{i3} = \delta_1 x_{i31} + \delta_2 x_{i32} + \delta_3 x_{i33} + \eta_3. \quad (9)$$

式中, δ_j 为特征变量参数, 通过极大似然估计得到; η_j 为常数, 通过拟合得到。

1.4 过渡方案的离散多项 Logit 选择模型

根据效用最大化理论, 假设 $U_i^* = \max (V_{ir} + \varepsilon_{ir})$, $U_i^* = V_i^* + \varepsilon_i^*$, 且 ε_i^* 服从 $(0, 1)$ 二重指数分布, 则方案选择概率计算入式 (10)^[17]:

$$P(y_i = j) = P(V_{ij} + \varepsilon_{ij} > V_i^* + \varepsilon_i^*); i \neq r, \\ r \notin R = P((V_{ij} + \varepsilon_{ij}) - (V_i^* + \varepsilon_i^*) \leq 0). \quad (10)$$

由此, 可得到多项 Logit 模型如下:

$$P(y_i = j) = \frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{r=0}^R e^{V_{ir}}}, \quad (11)$$

式中, P 为决策者 i 选择方案 j 的概率; R 为决策者可选择方案选择集。显然对于所有选择集中的概率:

$$\sum_{r=0}^R P(y = j) = 1. \quad (12)$$

1.5 参数检验

参数检验用于检测通过估计与拟合得到的参数值与理论值之间存在的差异是否可以被接受, 此处选用常见的 t 值检验。对于极大似然估计得到的参数 δ , 可由统计学得:

$$t = \frac{\delta_k}{\sqrt{v_k}}, \quad (13)$$

式中 v_k 为协方差矩阵中第 k 个对角元素。当 $|t| \geq 1.65$, 则可以认为特征变量对过渡方案的选择有显著影响, 且达到 90% 的置信水平。

2 案例分析

由于其交通流状态稳定且呈现较明显的时间规律,并且交叉口车道功能明确,本节案例分析继续选取江苏省苏州市滨河路干道沿线协调范围内的关键交叉口作为研究对象,即:滨河路—枫津大街、滨河路—何山路、滨河路—邓尉路及滨河路—金山路4个交叉口,进行多时段过渡策略的案例分析。交叉口布局示意图如图5所示。

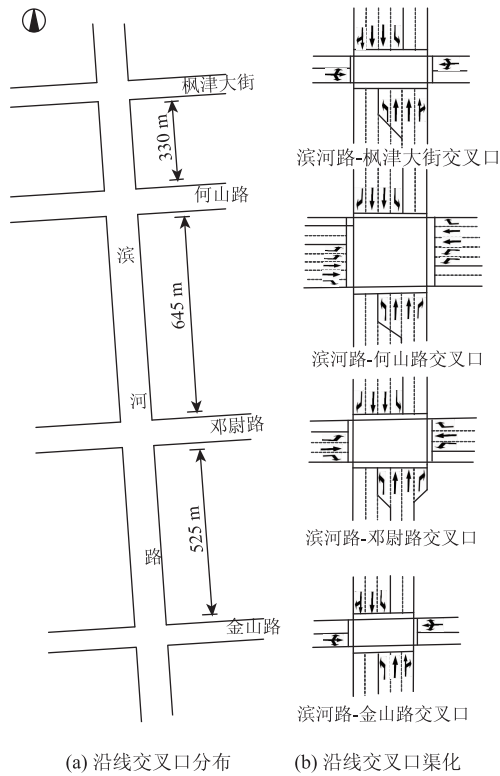


图5 滨河路主干道沿线交叉口布局
Fig. 5 Configuration of intersections along arterial of Binghe Road

基于历史数据,进行相关的参数标定^[18],并运用极大似然估计,可以得到 δ_i 参数值及 t 值检验结果如表3所示:

表3 参数计算值及检验			
Tab. 3 Parameter calculation values and verification			
特征变量	车均延误	该时段干道流量	过渡所需时长
待估参数	δ_1	δ_2	δ_3
计算值	0.496	3.874	-1.871
t 检验值	1.66	2.736	2.33

可以从中看出,各参数 t 值检验数值较为显著,即选取特性变量对离散选择模型的判定是有意义的。将上述参数代入各项过渡方案的效用函数当中,加

上常数参数,可得到:

立即过渡:

$$V_{i1} = 0.496x_{i11} + 3.874x_{i12} - 1.871x_{i13} + 3.854; \tag{14}$$

两周期过渡:

$$V_{i2} = 0.496x_{i21} + 3.874x_{i22} - 1.871x_{i23} + 2.382; \tag{15}$$

三周期过渡:

$$V_{i3} = 0.496x_{i31} + 3.874x_{i32} - 1.871x_{i33} + 2.392。 \tag{16}$$

运用效用函数与式(11),对决策者在不同交通情景下选择 j 项过渡方案的概率进行计算。

考虑到观察效果的差异,选取流量较大的早高峰附近时期,即方案1过渡至方案2时的时期,分别进行多时段方案切换的立即过渡、两周期过渡、三周期过渡方案进行预测,具体的特征变量取值如表4所示。

表4 滨河路多时段过渡方案选择模型特征变量取值
Tab. 4 Characteristic variable values of Binghe Road in TOD transition scheme selection model

交叉口名称	车均 延误/s	该时段干道 流量/(pcu·h ⁻¹)	过渡所需时长/s	
滨河路—枫津大街	29.22	1 271	立即过渡	48
			两周期过渡	88
			三周期过渡	128
滨河路—何山路	47.30	1 573	立即过渡	48
			两周期过渡	88
			三周期过渡	128
滨河路—邓尉路	29.70	1 102	立即过渡	48
			两周期过渡	88
			三周期过渡	128
滨河路—金山路	30.12	1 172	立即过渡	48
			两周期过渡	88
			三周期过渡	128

通过对式(11)计算可以得到,滨河路干道协调范围内的4个关键交叉口在早高峰即将来临时期,方案1转方案2切换的情况下选择立即过渡方案、两周期过渡方案、三周期过渡方案的概率分别如表5所示。

因此通过模型预测可知,在晚低峰方案切换至早高峰方案时,决策者针对滨河路—枫津大街、滨河路—何山路、滨河路—邓尉路、滨河路—金山路交叉口分别有50.77%,56.72%,46.88%,47.00%的

概率选择立即过渡方案以获得最好控制效益。

表 5 滨河路各交叉口早高峰过渡方案及选择概率

Tab. 5 Transition schemes of intersections on Binghe Road in morning peak and their selected probabilities

交叉口	概率		
	立即过渡	两周期过渡	三周期过渡
滨河路—枫津大街	50.77%	31.53%	17.70%
滨河路—何山路	56.72%	34.21%	9.06%
滨河路—邓尉路	46.88%	29.78%	23.34%
滨河路—金山路	47.00%	29.78%	23.22%

针对以上多时段过渡方案的多项 Logit 选择模型, 进行微观仿真, 以验证该模型选择的过渡方案的控制效益。选用在交通仿真软件 TSIS 中, 针对滨河路干道沿线交叉口进行建模仿真, 并分别观察 30, 60 min 的车均延误情况, 结果如表 6 所示。

表 6 滨河路干道交叉口早高峰多时段过渡方案仿真结果

Tab. 6 Simulation result of TOD transition scheme of intersections on Binghe Road in morning peak

交叉口	过渡方案	车均延误/s	
		仿真时长 30 min	仿真时长 60 min
滨河路—枫津大街	立即过渡	31.1	30.7
	两周期过渡	31.2	30.7
	三周期过渡	31.2	31.1
滨河路—何山路	立即过渡	47.4	46.7
	两周期过渡	47.6	43.2
	三周期过渡	49.5	43.7
滨河路—邓尉路	立即过渡	32.2	30.7
	两周期过渡	33.3	31.7
	三周期过渡	33.9	33.3
滨河路—金山路	立即过渡	34.6	32.1
	两周期过渡	36.4	33.3
	三周期过渡	37.3	32.7

从中可以看出, 在早高峰即将到来时, 由方案 1 切换至方案 2 的过渡过程中, 立即过渡方案的车均延误最低, 其次为两周期过渡方案, 三周期过渡方案车均延误最大。

而前述由多项 Logit 模型计算得到的在这一过渡过程中选择概率最大的方案为立即过渡方案, 然后依次是两周期过渡方案和三周期过渡方案, 与仿真的结论相一致。

由此可得, 采用立即过渡方案无论是在 30 min 运行情况下, 还是 60 min 运行情况下的效益都是最好的, 两周期过渡效益次之, 三周期过渡效果最差,

多项 Logit 选择模型预测结果达到预期。

3 结论

离散多项 Logit 模型能针对不同交通及道路环境, 对多时段的过渡方案进行快速判断, 适用于单点、干道控制中的过渡方案的选择, 也易于集成到道路交通控制系统中进行集中控制操作。本研究基于多项 Logit 模型, 对多时段过渡方案选择模型的判断, 并利用经典的 3 种平滑过渡方案作为选择集, 选取车均延误、该时段干道流量、过渡所需时长作为特征变量进行参数标定, 在效用最大理论的前提下进行概率计算, 最后通过参数检验确定结果的正确性。但应该注意的是, 由于本研究的案例是基于历史的离线数据, 由于交通流数据的变化不及时, 可能会出现过渡方案老化的问题, 需要进行进一步的更新判断, 对因检测器故障造成的缺失数据, 可以考虑在采集历史数据的基础上, 通过相应的修补算法进行监控, 及时发现和更新^[19-20], 另外选择集与特征变量选取、参数标定等, 不同的方法对本研究过渡方案选择的效益所带来的影响亦需后续进一步深入研究。

参考文献:

References:

- [1] LEE J, WILLIAMS B M. Development and Evaluation of a Constrained Optimization Model for Traffic Signal Plan Transition [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2012, 17 (1): 490-508.
- [2] POHLMANN T, FRIEDRICH B. Traffic Signal Transition in Coordinated Meshed Networks [J]. Transportation Research Record, 2010, 2192: 97-107.
- [3] 卢凯, 徐建闽, 郑淑鉴, 等. 交通信号协调控制方案过渡优化算法 [J]. 交通运输工程学报, 2012, 12 (6): 97-103.
- LU Kai, XU Jian-min, ZHENG Shu-jian, et al. Optimization Algorithm of Coordinated Control Scheme Transition of Traffic Signal [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2012, 12 (6): 97-103.
- [4] OBENBERGER J T, COLLURA J. Methodology to Assess Traffic Signal Transition Strategies for Exit Preemption Control [J]. Transportation Research Record, 2007, 2035: 158-168.
- [5] SHELBY S, BULLOCK D, GETTMAN D. Transition Methods in Traffic Signal Control [J]. Transportation Research Record, 2006, 1978: 130-140.
- [6] BALKE K, RAO K, HUSTED M. Incorporating the

- Effects of Signal Transition in the Selection of Timing Plans in Traffic Responsive Signal Systems, SWUTC/98/465080-1 [R]. Austin: Southwest Region University, 1998.
- [7] LI H Q, LU H P, ZHANG W. A New Optimization Method for Time-of-day Signal Timing Transition of Arterial Traffic [C] //Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005: 1352-1357.
- [8] 栗红强, 陆化普, 刘强. 城市交通线控多时段配时方案过渡算法研究 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2008, 32 (5): 779-781.
- LI Hong-qiang, LU Hua-pu, LIU Qiang. Research on the Transition Algorithm of Timing Scheme with Time-of-day in Urban Traffic Line Control [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering Edition, 2008, 32 (5): 779-781.
- [9] 郭海锋, 彭起涛, 程君, 等. 干线协调控制方案的快速平滑过渡方法 [J]. 西南交通大学学报, 2014, 49 (5): 882-887.
- GUO Hai-feng, PENG Qi-tao, CHENG Jun, et al. A Novel Method for Fast Smoothing Transition of Arterial Coordination Control Plans [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2014, 49 (5): 882-887.
- [10] 姚佼, 徐洁琼, 韩印. 基于聚类分析的城市交通 TOD 优化控制方法 [J]. 交通运输工程学报, 2014 (6): 110-116.
- YAO Jiao, XU Jie-qiong, HAN Yin. TOD Optimal Control Method of Urban Traffic Based on Clustering Analysis [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014 (6): 110-116.
- [11] 尹希果. 计量经济学: 原理与操作 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.
- YIN Xi-guo. Econometrics: Principles and Operations [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2009.
- [12] 栾琨, 隗志才, 宗芳. 通勤者出行方式与出行链选择行为研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (6): 107-111.
- LUAN Kun, JUAN Zhi-cai, ZONG Fang. Research on Commuter's Choice Behavior between Travel Mode and Trip Chain [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (6): 107-111.
- [13] 干宏程. 交通信息与出行者路线选择 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- GAN Hong-cheng. Traffic Information and Traveler Route Choice [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [14] YANG C W, SUNG Y C. Constructing a Mixed-logit Model with Market Positioning to Analyze the Effects of New Mode Introduction [J]. Journal of Transport Geography, 2010, 18 (1): 175-182.
- [15] 李华民, 黄海军, 刘剑锋. 混合 Logit 模型的参数估计与应用研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10 (5): 73-78.
- LI Hua-min, HUANG Hai-jun, LIU Jian-feng. Parameter Estimation of the Mixed Logit Model and Its Application [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10 (5): 73-78.
- [16] 袁建. 上海浦东国际机场集疏运交通方式选择行为分析 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (3): 118-124.
- YUAN Jian. Analysis of Airport Access Mode Choice: A Case Study of Shanghai Pudong Airport [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (3): 118-124.
- [17] 唐洁, 隗志才, 高林杰. 城市居民出行空间和方式联合选择模型研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (5): 83-87.
- TANG Jie, JUAN Zhi-cai, GAO Lin-jie. Travel Space and Mode Combined Choice Model for Urban Travelers [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (5): 83-87.
- [18] 高婷, 许源. 多层 logit 模型在 TransCAD 上的实现 [J]. 交通信息与安全, 2007, 25 (4): 82-84.
- GAO Ting, XU Yuan. Implementation of Nested Logit Model in TransCAD [J]. Transportation Information and Safety, 2007, 25 (4): 82-84.
- [19] GUO R, ZHANG Y. Identifying Time-of-day Breakpoints Based on Nonintrusive Data Collection Platforms [J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2014, 18 (2): 164-174.
- [20] 姚佼. 基于车辆行驶数据的交叉口交通控制机制研究 [D]. 上海: 同济大学, 2011.
- YAO Jiao. Study on Vehicle Probe Data Based Traffic Control Mechanism at Isolated Intersection [D]. Shanghai: Tongji University, 2011.