

Research on Collaboration of Urban Traffic Guidance Control Based on Mobile Internet Traffic Information

Jiafa Luo, Wenyong Li

School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi

Email: 448759144@qq.com

Received: May 6th, 2020; accepted: May 21st, 2020; published: May 28th, 2020

Abstract

The paper conducts SP survey on the traveler's path selection behavior under the mobile Internet traffic guidance information, uses SPSS software to screen and eliminates the influencing factors, and predicts the probability of the traveler changing the path by establishing a Logit regression model. Enlightenment from the collaborative control strategy of induced control is concluded. Taking the minimum sum of road network travel time and delay time as the objective function, a traffic guidance control collaborative model is established, and the collaborative model algorithm is optimized by genetic algorithm. A small road network with four intersections in Guilin is used as an example to analyze the model. Comparative analysis of the results before and after optimization shows that the model achieves a reduction in the total travel time of the road network, which verifies the feasibility of the model.

Keywords

Traffic Control, Traffic Guidance, Route Choice Behavior, Genetic Algorithm

基于移动互联网交通信息的城市交通诱导控制协同研究

罗佳发, 李文勇

桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 广西 桂林

Email: 448759144@qq.com

收稿日期: 2020年5月6日; 录用日期: 2020年5月21日; 发布日期: 2020年5月28日

摘要

本文对移动互联网交通诱导信息下的出行者路径选择行为进行SP调查,利用SPSS软件对影响因素进行筛选、剔除,并通过建立Logit回归模型预测出行者改变路径的概率,基于研究结果得出对制定交通诱导控制协同管理策略的启示。以路网行驶时间和延误时间最小之和为目标函数,建立交通诱导控制协同模型,通过遗传算法对协同模型算法进行优化设计,以桂林市一个包含四个交叉口的小型路网对模型进行实例分析,优化前后结果对比分析表明模型实现了路网总行程时间的减少,验证了模型的可行性。

关键词

交通控制, 交通诱导, 路径选择行为, 遗传算法

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着“物联网”、“互联网+”、“车联网”技术的发展,实现了交通数据的全面感知,使现代交通进入交通大数据的大发展时代。人们发现将互联网科技带入交通系统对交通进行管理和控制能够起到良好的效果,对改善城市交通拥堵问题和提高城市交通系统的运行效率起到积极的作用。在此背景下,智能交通系统(ITS)逐渐成为交通领域研究的热点和重点。

智能交通系统(ITS)是将现代通讯、信息、控制、传感以及计算机等技术融合并有效地使用于交通系统中,从而打造的具有良好的实时性、准确性、高效性的城市交通管理系统[1]。城市交通控制系统(UTCS)和城市交通诱导系统(UTFGS)是智能交通系统的核心,交通控制系统通过管理手段,协调交叉口各信号相位的绿灯时间,对路网流量进行再分配,以提升路网的通行能力和改善交通状况。交通诱导系统是通过向出行者发布描述型或诱导型的交通信息,实现对出行者路径选择的影响,从而对整体的路网流量分布进行优化,避免因车辆“扎堆”而引起交通拥堵。交通控制系统和交通诱导系统两者既相互联系、缺一不可,又互相独立、各有侧重[2],交通诱导控制协同系统能够整体上有效地优化路网流量在时空上的分布,以达到最佳的管理效果。因此,研究移动互联网信息下的城市交通诱导控制协同方法,对改善城市交通环境,提升路网运行效率,建设绿色城市以及促进城市经济发展具有十分重要的意义[3]。

2. 出行者路径选择行为调查与分析

2.1. 出行者路径选择行为调查

2.1.1. SP 调查问卷设计

(1) 影响因素调查

① 个人属性。包括:年龄、年收入、受教育水平、驾龄、对路网的熟悉程度等;

② 出行特性。包括出行目的、出行耗时、出行次数等;

③ 信息属性。包括对VMS的关注程度、对VMS信息准确度的评价、偏好的VMS发布信息的形式等;

④ 改变路径倾向。包括改变路径考虑的主要因素、何种情况下关注诱导信息等。

(2) 假设情景调查

假设情景中,当原计划路径 a 发生交通拥堵后,调查 VMS 发布三种不同的诱导信息:“路径 a 拥堵,路径 b 通畅”、“路径 a——6 公里, 25 分钟; 路径 b——8 公里, 20 分钟”、“路径 a——6 公里, 30 分钟; 路径 b——8 公里, 20 分钟”对出行者路径选择的影响。假设情景示意图如图 1 所示。

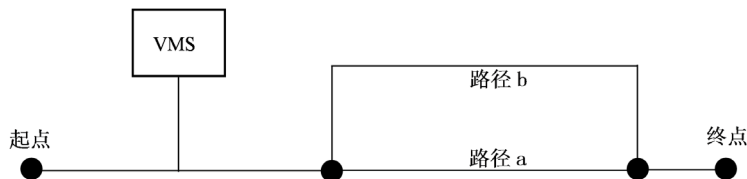


Figure 1. Hypothetical scenario diagram
图 1. 假设情景示意图

2.1.2. 调查描述

为了获得足够的样本量,本次调查以网络调查和实地调查两种方式进行。实地调查的时间为 2019 年 11 月 23 日(周六),地点为桂林市中心广场,对出行者当面进行访问与填写问卷。

2.2. 路径选择行为模型

模型的因变量是出行者是否改变路径,自变量包括:年龄、收入、受教育水平、驾龄、路网熟知程度、出行目的、出行耗时、出行次数、VMS 信息准确度、VMS 信息表达类型、VMS 关注程度、改变路径的影响因素这 12 个因素。

本文运用 SPSS 22.0 软件,采用二元 Logistic 回归分析对 12 个影响因素进行检测、剔除。在回归分析中,以显著性 0.25 作为筛选自变量的标准,剔除显著性大于 0.25 的自变量,置信度水平采用 SPSS 软件默认的 95% [4]。最终得到 4 个显著性小于 0.25 的自变量:驾龄、VMS 信息准确度、VMS 关注程度、改变路径影响因素。结果如表 1 所示。

Table 1. Logistic regression parameter estimation results
表 1. Logistic 回归参数估计结果

影响因素	B	S.E	Wald	df	显著性	Exp(B)
驾龄	-0.144	0.108	2.273	1	0.122	0.774
VMS 准确度			8.944	2	0.113	
VMS 准确度(1)	1.379	1.116	7.446	1	0.013	7.461
VMS 准确度(2)	1.142	1.134	2.997	1	0.145	2.964
VMS 关注程度			6.013	2	0.136	
VMS 关注程度(1)	1.492	0.803	4.751	1	0.046	4.192
VMS 关注程度(2)	1.137	0.574	3.724	1	0.128	2.746
改变路径因素			4.742	2	0.135	
改变路径因素(1)	1.358	1.121	4.026	1	0.027	1.343
改变路径因素(2)	1.183	1.097	2.018	1	0.134	1.174
常量	1.751	1.947	9.831	1	0.038	0.874

将筛选后留下的自变量的回归系数和常数项代入 Logit 模型中, 建立诱导信息下出行者路径选择概率模型:

$$p = \exp(1.751 - 0.144x_1 + 0.1379x_2 + 1.142x_3 + 1.492x_4 + 1.137x_5 + 1.358x_6 + 1.183x_7) / [1 + \exp(1.751 - 0.144x_1 + 0.1379x_2 + 1.142x_3 + 1.492x_4 + 1.137x_5 + 1.358x_6 + 1.183x_7)] \quad (1)$$

模型中各自变量对应的解释如表 2 所示。

Table 2. Correspondence of independent variables
表 2. 自变量对应关系

自变量	对应的影响因素
x_1	驾龄
x_2	VMS 准确度较高
x_3	VMS 准确度一般
x_4	VMS 关注度较高
x_5	VMS 关注度一般
x_6	行驶时间更少
x_7	行驶路程更短

2.3. 模型分析

假定其余自变量固定, 对模型中的变量进行单因素分析[5]。

(1) 驾龄的影响

驾龄的回归系数为-0.144, 说明驾龄越大, 出行者改变路径的概率越小, 其 OR 值为 $\exp(0.144) = 1.155$, 表明出行者不更换路径的概率随驾龄每增加 1 年而增大 0.155 倍。

(2) VMS 准确度的影响

出行者认为 VMS 准确度较高和认为 VMS 准确度一般的 OR 值分别为 $\exp(1.379) = 3.970$ 、 $\exp(1.142) = 3.133$, 即认为 VMS 准确度较高和认为 VMS 准确度一般的出行者改变路径的可能性分别是认为 VMS 准确度较低的 3.970 倍、3.133 倍。表明 VMS 准确度越高, 出行者依从诱导信息更换路径的可能性越高。

(3) VMS 关注程度的影响

在出行者中, 对 VMS 关注程度较高和关注程度一般的 OR 值分别为 $\exp(1.492) = 4.446$ 、 $\exp(1.137) = 3.0117$, 即对 VMS 关注程度较高和关注程度一般的出行者改变路径的可能性分别是关注程度较低的 4.446 倍、3.0117 倍。说明出行者对 VMS 关注程度越高, 受诱导信息的作用越大, 更换路径的可能性越高。

(4) 改变路径选择因素的影响

模型中出行者受行驶时间影响的 OR 值为 $\exp(1.358) = 3.888$, 受行驶路程影响的 OR 值为 $\exp(1.183) = 3.264$, 即出行者受行驶时间因素影响而改变路径的可能性是其他因素的 3.888 倍, 受行驶距离因素影响而改变路径的可能性是其他因素的 3.264 倍, 说明出行者在出行中受到行驶时间和行驶距离的影响较大, 改变路径的可能性也更大。

2.4. 对制定交通诱导控制协同策略的启示

交通诱导控制协同管理策略分为动态控制策略和动态诱导策略, 动态交通控制策略是通过优化信号配时方案对交叉口车流进行管理, 动态交通诱导策略的内容主要分为两部分: 如何有效对交通流进行诱导、对路网交通流的均衡分配[6]。路网交通流均衡分配可通过算法求得, 而要达到对出行者有效诱导的目的, 则要通过管理者的诱导手段。交通诱导信息对出行者在途中的路径选择行为有较大的影响作用, 因此, 基于本次对出行者在移动互联交通诱导信息下的路径选择行为研究的分析, 对如何有效的诱导交通流可得到如下启示:

(1) 交通管理者通过 VMS 发布诱导信息时, 应及时准确地更新诱导信息, 提高出行者对 VMS 诱导信息的满意度和信任度, 避免诱导信息与实际情况存在较大误差, 导致出行者降低对 VMS 诱导信息的信任度, 对交通诱导系统发挥诱导作用产生消极影响。

(2) 根据假设情景调查分析结果, VMS 在不同情况下发布不同类型的诱导信息能够起到不同程度的诱导效果。因此, 交通管理者通过 VMS 发布诱导信息时, 可根据路段的实际行程距离、预测得到的行驶时间和其他路网情况, 选择对出行者发布描述型诱导信息还是预测型诱导信息, 以最大限度地提高出行者对诱导信息的依从性, 达到最佳的诱导效果。

(3) 根据路径选择模型的分析结果, 出行者对 VMS 交通诱导信息的关注程度越高, 其依从诱导信息进行改变路径的概率越大, 诱导效果越显著。因此, 交通管理者可通过公众号、车载广播、政府平台和论坛等途径提高出行者对 VMS 的认知和关注, 进而提高出行者对 VMS 诱导信息的接受度和使用率, 提高 VMS 的诱导效果, 改善路网车流分布的均衡性。

3. 交通控制与交通诱导协同模型

本次建模的核心思想是以交通控制和交通诱导手段对路网上的交通车流进行调整, 优化路网交通流在时空上的分布, 以缓解局部区域路网范围内的拥堵, 降低路网的总行程时间, 提高路网的通行效率[7]。因此本次建立的协同模型以行驶时间与延误时间之和的总行程时间作为模型的目标函数, 以路网流量、流入率、绿信比为模型的变量, 并对变量进行约束。

3.1. 路段行驶时间计算模型

路段的行驶时间是行驶路程与行驶速度的比值, 可通过下式计算:

$$T_1 = \frac{L}{V} \quad (2)$$

式中: L ——路段上游交叉口出口 20 米到当前交叉口停车线前 100 米的距离;

V ——路段车辆的平均行驶速度;

L 可通过现场测量得到。 V 的表达式为:

$$v = \frac{v_f}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4x}{v_f k_j}} \right) \quad (3)$$

将公式(3)代入公式(2)得到路段行驶时间公式:

$$T_1 = \frac{k_j L_\alpha \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4x}{v_f k_j}} \right)}{2x} \quad (4)$$

3.2. 交叉口延误模型

本次研究中采用 HCM 手册(1985 版)延误模型对延误进行计算, 其计算公式如下:

$$T_2 = 0.38C \frac{(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + 173x^2 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{16x}{S}} \right] \quad (5)$$

式中: C ——信号交叉口周期;

λ ——绿信比;

X ——饱和度;

S ——信号交叉口饱和流量。

式中第一项为车辆均匀到达交叉口产生的均匀延误, 第二项为增量延误, 由车辆的随机到达产生。

3.3. 协同模型的建立

综上所述, 以路网总行程时间(行驶时间与延误时间之和)作为模型的目标函数, 通过对流量、绿信比、饱和度等参数进行约束, 建立如下协同模型:

$$f = \min \sum_{\alpha=1}^n (T_1 + T_2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i < \psi, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \\ S^2 = \frac{1}{n} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 < \sigma, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \\ \sum_{\alpha \in A(k)} q^k = OD_k^n + \sum_{\alpha \in A(n)} u^n \\ 0 < x < \beta \\ 0 < q < \beta \\ 0 < \lambda < 1 \end{cases} \quad (6)$$

3.4. 协同模型的遗传算法设计

遗传算法是 Holland 教授模拟达尔文生物进化论的算法, 该算法是基于适者生存原则模拟自然进化过程搜索模型最优解的方法。通过对变量进行编码得到一组候选种群并测算种群的适应度, 根据适应度基于优胜劣汰、适者生存的准则得到模型的近似最优解, 将得到的新种群进行复制、选择、交叉、变异得到新的近似最优解, 对新的近似最优解循环重复以上过程, 最终得到模型的最优解[8]。

在遗传算法中, 将模型的目标函数转化为适应度函数, 对模型中的种群进行适应度测算。本文中建立的模型是求最小值的优化问题, 将目标函数处理并转换后的适应度函数如下:

$$Fit(f(x)) = \max(M - f(x)) = \max \left(M - \min \sum_{\alpha=1}^n (T_{\alpha 1} + T_{\alpha 2}) \right) \quad (7)$$

惩罚函数可通过惩罚不可行解将有约束模型转为无约束模型。求最小化的非线性规划问题时, 采用加法形式构造进化函数, 惩罚项由变量惩罚因子和对违反约束的惩罚构成; 求最大化的非线性规划问题时, 采用乘法形式构造进化函数。在本文中要解决的问题为最小化有约束问题, 可以利用惩罚函数将最小化有约束问题转化为最小化无约束问题:

$$Fminf'(x) = f(x) + \sigma p(x) \quad (8)$$

式中: σ ——惩罚因子, 为较大正数。

相应的 $p(x)$ 惩罚项为:

$$p(x) = \sum (\max(0, -g_i(x)))^2 + (h_j(x))^2 \quad (9)$$

式中: $g_i(x)$ ——约束条件中的不等式约束;

$h_j(x)$ ——约束条件中的等式约束。

4. 实例应用分析

为了验证本次研究中交通诱导控制协同模型的可行性, 本文针对一个包含四个交叉口的局部区域进行分析, 路网示意图如图 2 所示。

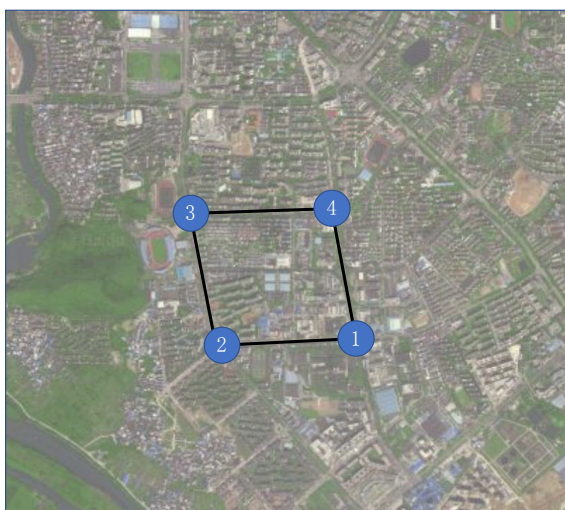


Figure 2. Road network diagram
图 2. 路网示意图

为了简化计算, 对路网中的以下数据进行假设:

- (1) 路网中的交叉口信号控制相位均为两相位;
- (2) 交叉口信号周期为固定周期, 交叉口 1、交叉口 4 周期取 60 s, 交叉口 2、交叉口 3 周期取 80 s;
- (3) 路网中道路的最大饱和度为 0.4, 最大饱和度方差为 0.05;
- (4) 路网中道路的车辆最大驶入率为 1 辆/s;
- (5) 车流自由流行驶速度为 22.3 m/s², 路段阻塞密度为 0.131 辆/m。
- (6) 1-3、3-1、2-4、4-2 的 OD 需求为 0.4 辆/s。
- (7) 驶出率与流量的转化值为 0.025。

路网中的道路均为双向道路, 其基础数据如表 3 所示。

将协同模型中的参数分别用实验数据和 x 代替, 将决策变量流量 x_i 用 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$ 表示, 流入率 q_i 用 $x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$ 表示, 绿信比 λ_i 用 $x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}$ 表示。参数变量与 x 的对应关系如表 4。

利用 Matlab 软件中的遗传算法与直接搜索工具箱求解模型, 最终得到的最优解如表 5 所示。

求解得到的适应度函数最优值为: 1110.2 s。将基础数据中的流量、驶入率和绿信比代入目标函数公式计算得到优化前路网的总行程时间为: 1257.7 s, 优化后的路网总行程时间为: 1110.2 s, 优化后的总

行程时间相比优化前降低了 11.7%。因此可知, 本文设计的交通诱导控制协同系统对路网交通状况起到了一定的优化效果, 对提高路网性能具备一定的可行性。

Table 3. Road network basic data sheet

表 3. 路网基础数据表

路段	长度(m)	流量(辆/s)	饱和流量(辆/s)	驶入率(辆/s)	绿信比
1-2	590	0.22	1.1	0.14	0.432
2-1	590	0.16	1.1	0.19	0.34
2-3	570	0.41	1.6	0.52	0.455
3-2	570	0.44	1.6	0.39	0.493
3-4	660	0.21	1.1	0.22	0.35
4-3	660	0.24	1.1	0.21	0.47
4-1	540	0.19	1.1	0.24	0.56
1-4	540	0.16	1.1	0.23	0.65

Table 4. Correspondence between parameter variables and x

表 4. 参数变量与 x 对应关系

路段	流量	流入率	绿信比
1-2	x_1	x_9	x_{17}
2-1	x_2	x_{10}	x_{18}
2-3	x_3	x_{11}	x_{19}
3-2	x_4	x_{12}	x_{20}
3-4	x_5	x_{13}	x_{21}
4-3	x_6	x_{14}	x_{22}
4-1	x_7	x_{15}	x_{23}
1-4	x_8	x_{16}	x_{24}

Table 5. Model optimal solution

表 5. 模型最优解

流量	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
解	0.18	0.19	0.47	0.38	0.23	0.17	0.18	0.22
流入率	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}
解	0.23	0.11	0.4	0.43	0.08	0.26	0.25	0.28
绿信比	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}
解	0.432	0.34	0.455	0.493	0.35	0.47	0.56	0.65

5. 结语

本文通过对移动互联交通信息下出行者的出行路径选择行为进行了 SP 调查, 并建立了出行者路径选择的 Logit 模型, 对路径选择的影响因素进行了分析。根据研究结果, 当 VMS 交通诱导信息的准确度以

及出行者对 VMS 诱导信息关注度越高时, 出行者的诱导依从性越高; 在途出行者对出行路径进行决策时, 首先考虑行驶时间, 其次是行驶距离, 因此, 管理者通过 VMS 发布诱导信息时, 应结合路网的实际情况决定发布指示型诱导信息或是预测型诱导信息。以路网的总行程时间最小为目标函数, 以交通量、驶入率、绿信比为约束条件, 建立了交通诱导控制协同模型, 利用遗传算法对模型进行求解并进行实例应用分析, 优化前后的路网总行程时间对比分析结果表明, 优化后的路网总行程时间相比优化前减少了 11.7%, 说明交通诱导控制协同模型具备一定的可行性, 能够有效地提升路网的性能。

参考文献

- [1] 王川. 车路协同环境下交通控制与诱导协同研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
- [2] 高敏静. 城市交通控制与诱导系统协同优化研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2011.
- [3] 李浩. 基于交通信息的城市网络路径诱导策略研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [4] 张卫华, 李梦凡. 不同交通信息诱导下驾驶员路径选择行为研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(10): 86-93.
- [5] 史路. 诱导信息下出行者路径选择行为研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [6] 熊若曦. 基于车路协同的车辆诱导策略对路网交通流的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [7] 刘权富. 城市交通控制与交通诱导协同研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [8] 杨波. 城市交通诱导与控制系统一体化集成理论与技术研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2010.