

智慧城市路网交通流量均衡性优化调度方法

严萌[†]

(西安财经大学行知学院,陕西西安 710054)

摘要:早高峰和晚高峰时段的路网交通混乱,极易发生拥堵情况,为缓解交通系统压力,设计节点元胞划分下智慧城市路网交通流量均衡性优化调度方法。获取不同交通路线间的流量分离函数,定义路径交通流量和可用路段费用,得到出行者在某段路径上的概率函数,计算智慧城市路网各路段交通流量;获取流量守恒和车辆传递函数,计算可变元胞的单独序列,建立交通节点元胞划分模型;设计交通流量均衡性优化调度算法,得到城市路网均衡性的优化调度结果。设置仿真参数,对比优化前后三个路网模型的路径流量,仿真结果显示:早高峰和晚高峰时段路段内的路径流量明显降低,在其他时段,优化后的路径流量也不同程度的下降,且路网模型越复杂,该优化方法的调度效果越好。

关键词:节点元胞划分;智慧城市;路网;交通流量;均衡性优化调度;仿真分析

中图分类号:TN06

文献标识码:A

Optimal Dispatching Method for Traffic Flow Balance of Smart City Road Network

YAN Meng[†]

(Xingzhi College of Xi'an university of Finance and Economics, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to alleviate the pressure of the transportation system, the optimal scheduling method of traffic flow balance of smart city road network under node cell division is designed. Obtain the flow separation function between different traffic routes, define the path traffic flow and available section cost, obtain the probability function of travelers on a certain section of the path, and calculate the traffic flow of each section of the smart city road network. Obtain the flow conservation and vehicle transfer function, calculate the separate sequence of variable cells, and establish the cell division model of traffic nodes. The optimal scheduling algorithm of traffic flow balance is designed to obtain the optimal scheduling results of urban road network balance. Set the simulation parameters and compare the path flow of the three road network models before and after optimization. The simulation results show that the path flow in the road sections in the morning peak and evening peak hours is significantly reduced, and in other periods, the optimized path flow also decreases to varying degrees, and the more complex the road network model is, the better the scheduling effect of this optimization method is.

Key words: node cell division; smart city; road network; traffic flow; balanced optimal scheduling; simulation analysis

随着工业水平以及人们生活水平日益提高,越来越多的人开始通过私人机动车出行,这样的私家车规模对我国的交通系统造成了巨大的压力。尤

其是早高峰以及晚高峰等时间段,许多人难以准时到达指定地点,经常会出现堵车、迟到等情况。交通是社会活动正常进行的重要保证,如果城市内部

的交通拥堵,环境混乱,很容易造成一系列问题。为解决智慧城市内路网交通拥堵等问题,需要对其进行流量均衡性的优化调度,并在实验中对其进行仿真分析。

在文献[1]中,通过交通诱导系统设计了一个基于出行者路径选择的调整方案。诱导出行的信息比例越高,不动点的状态越稳定,演化模型的收敛效果就越好,此时所得到的交流流量越稳定。文献[2]则是通过网络结构优化算法,设计了一个以路段和交叉口为核心的路网交通演化模型,将复合饱和度以及相位流量比作为拥堵演化的特征入口,建立双向交通的连带权重,并在保证交通双向均衡的前提下建立不同路段的饱和信息,减少交通资源浪费等情况。文献[3]则是通过自动导航模式,对路径交通的均衡分配做出了分析与整理。在载人状态以及空载状态下,以路段的成本函数为核心,建立了对称与不对称的路段模型,并通过停车需求和路段流量求出调度优化的算法。通过以上文献,本文设计了一种基于节点元胞划分的智慧城市路网交通流量均衡性优化调度方法,并对其进行仿真分析。

1 基于节点元胞划分设计智慧城市路网交通流量均衡性优化调度方法

1.1 计算智慧城市路网各路段交通流量

在保证交通流量均衡性的前提下,出行者需要以交通流量最接近平均值的原则来选择出行路线。此时就需要计算不同交通路线间的流量分离函数:

$$H_y^k = \frac{e^{-\alpha_i t_k}}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

式中, H_y^k 表示不同交通路线间的流量分离函数值; α_i 表示第*i*条路线上的路径流量; t_k 表示在该条路线上出行所需的时间; F_i 表示出行者在路径*i*上的期望阻抗^[4]。在不同的交通网络内,路径的交通流量以及可用路段费用有较大差异,其计算公式为:

$$C_m^R = \sum_{i=1}^n \frac{(T_f^R + X_f^R)}{\lambda_m} \quad (2)$$

式中, C_m^R 表示某城市路网*R*内路径*m*与路段的相关系数; T_f^R 表示在该路径行驶所需时间, X_f^R 表示起点到重点的路段交通流量; C_k 表示该路径所需费用; λ_m 表示路径的阻抗参数^[5-6]。该参数一般只能取值为0或1,该函数为:

$$\lambda_m = \begin{cases} 0, m \in R \\ 1, m \notin R \end{cases} \quad (3)$$

式中,当路径*m*在路网系统内时,将 λ_m 取值为0,当路径*m*不再路网系统内时,将 λ_m 取值为1。此时将所有路径的出行阻抗作为一个随机变量,以最接近交通流量平均值的角度出发,可以得到出行者选择某路径的概率为:

$$P_m^R = \Pr(D_m^R \leq G_m^R, \forall s \neq R) \quad (4)$$

式中, D_m^R 表示在路网*R*路段*m*上形式的出行阻抗, D_m^R 越大,表明该时段内该路线上的交通流量越大; G_m^R 表示出行阻抗的随机误差项^[7-8]。当上式成立且服从正泰分布时,可以得到智慧城市路网各路段交通流量,其计算公式为:

$$H_m^R = \frac{e^{-k}}{\sum_{i=1}^n e^{-P_m}} \quad (5)$$

式中, H_m^R 表示路网*R*路段*m*上的交通流量; k 表示流量分离系数; P_m 表示路径出行阻抗的随机变量^[9]。结合该公式,可以在任意已经被标记的路线上计算其交通流量的大小。

1.2 建立交通节点元胞划分模型

节点元胞划分是一种以动态交通的分配以及路段实时交通特性为基础,进行流量传播与约束的调度优化方法^[10-11]。在节点元胞划分中,流量守恒和车辆传递模型为:

$$X_k(t+1) = X_k(t) + Y_k(t) - Y_k(t-1) \quad (6)$$

式中, $X_k(t)$ 和 $X_k(t+1)$ 分别表示*t*时刻和*t+1*时刻元胞节点上车辆的数量; $Y_k(t)$ 和 $Y_k(t-1)$ 则分别表示两个时段内车辆流入该路段的数量^[12]。结合以上流量特征,可以得到该节点元胞的划分如图1所示。

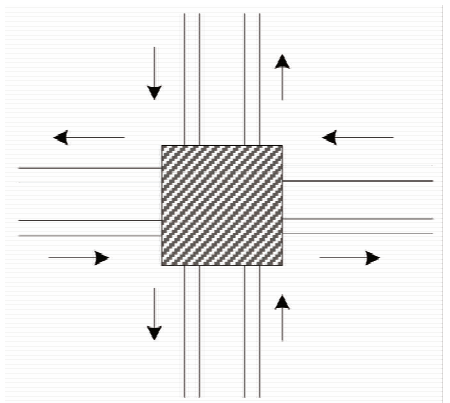


图1 节点元胞划分示意图

如图1所示,通过流入率 Q_k 计算节点的流量:

$$Q_k = \min \{V_k P_f, Q_{\max}, \delta_i (P_{\max} - P_{\min})\} \quad (7)$$

式中, V_k 表示交通流动的速度; P_f 表示交通车辆的密度; Q_{\max} 表示该路段上的车辆最大流入率; P_{\max} 和 P_{\min} 分别表示交通车辆最大和最小的密度; δ_i 表示该路段发生阻塞现象时车辆的密度。通过节点元胞, 可以将可变的转弯弧度定义为交叉口内不同的元胞转弯弧度, 并计算可变元胞的单独序列^[13-14]。

1.3 设计交通流量均衡性优化调度算法

结合上文设计本文智慧城市路网交通流量均衡性的优化调度算法, 其流程如图 2 所示。

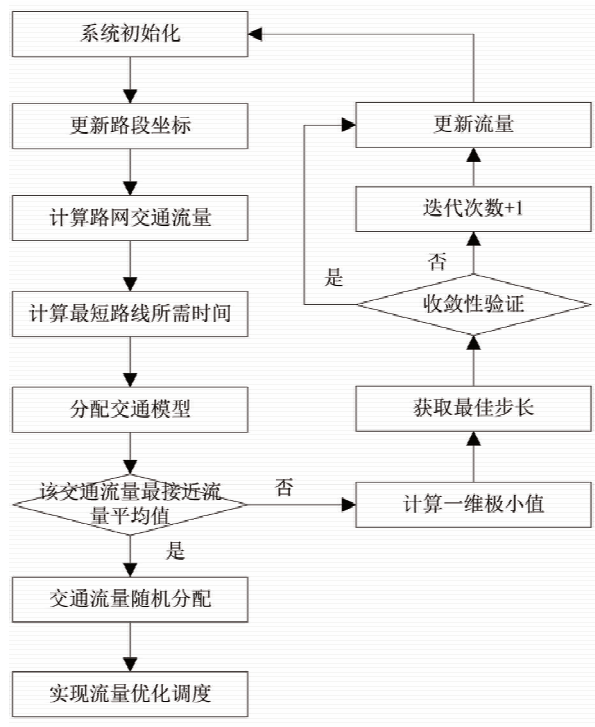


图 2 算法流程

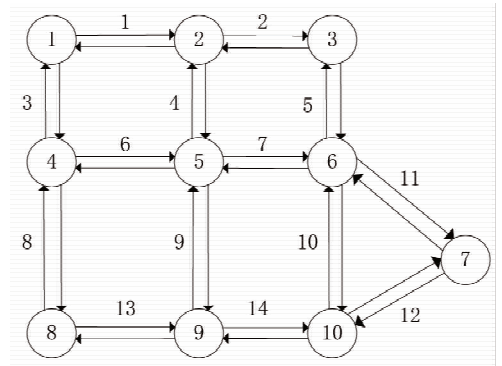
如图 2 所示, 首选需要对系统进行初始化处理, 更新实时路段坐标, 获取最新的智慧城市路网交通流量数据。计算路网的交通流量, 获取所有已标记的路线上交通流量的大小, 以便求取不同路段交通流量的平均值, 用于出行者的路线选择, 并计算出行者选择最短路线所需时间。分配交通模型, 判断该交通模型是否最接近交通流量的平均值^[15-16]。当接近平均值时, 可以直接分配交通流量, 并实现流量调度优化。但是若没有接近交通流量的平均值, 需要计算计算节点元胞划分的一维极小值, 获取最佳步长单位, 并验证其收敛性。若交通节点元胞结构实现了算法的收敛, 则可以更新流量, 但是若算法没有收敛, 需要将迭代次数加 1, 才能更新流量。此后可以继续初始化系统, 重新计算路段坐标, 直至求得接近流量平均值的交通指标。

通过该方法获得的调度算法即可以得到智慧城市路网交通流量均衡性的优化。

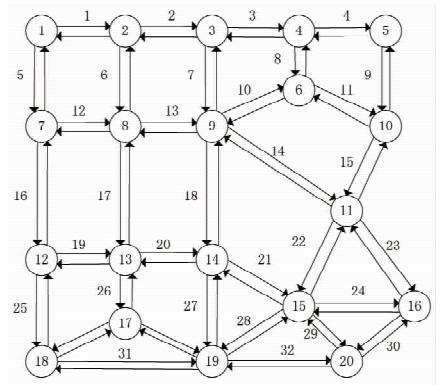
2 仿真实验

2.1 智慧城市路网交通模型仿真

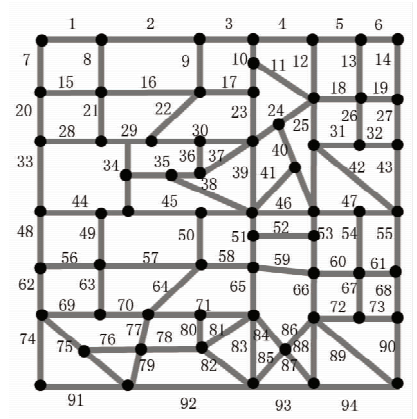
为测试本文设计的节点元胞划分下智慧城市路网交通流量均衡性优化调度方法在不同规模的交通网络中的有效性, 设计如下仿真实验。以已经存在的交通网络作为本次仿真实验的模型结构, 依据节点数量与路段数量的不同, 得到两种不同的路网模型, 如图 3 所示。



(a) 10 节点 14 路段



(b) 20 节点 32 路段



(c) 62 节点 94 路段

图 3 不同节点与路段数量的路网模型

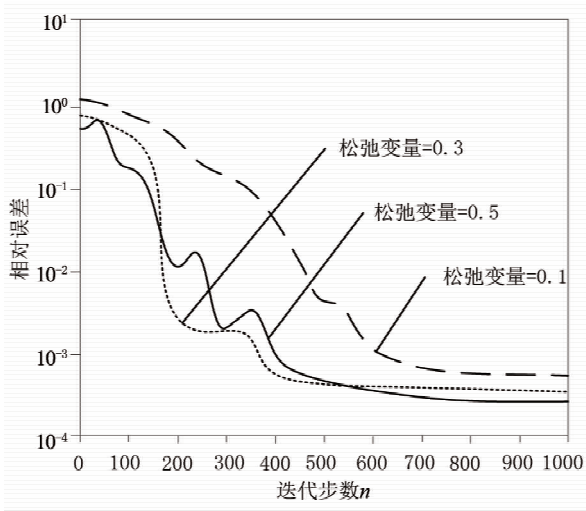
如图3所示,路网A共有10个节点和14个路段,路网B有20个节点和32个路段,路网C有62个节点和94个路段,三个路网模型的复杂度依次递增。使用MATLAB软件对这三个模型进行仿真分析,并测试其均衡调度的有效性。

2.2 仿真参数设置

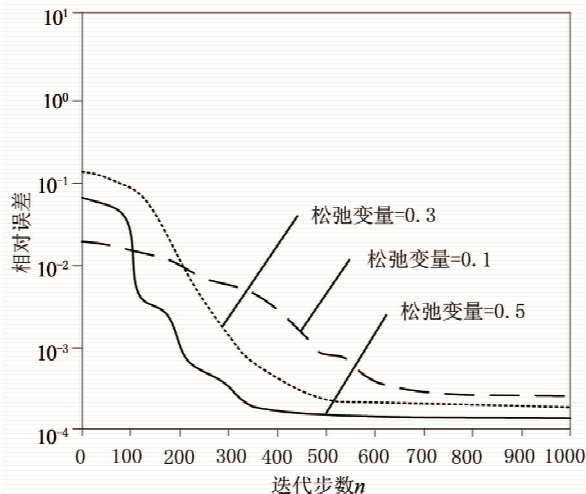
本实验在测试三个路网模型的过程中,通过松弛系数 α_k 与外推系数 β_k 观察算法的仿真数值。令松弛系数 $\alpha_k = \{0.1, 0.3, 0.5\}$,外推系数 $\beta_k = \{0.2, 0.5, 0.8\}$,分别测试五个外推系数在不同迭代步数下的松弛变量。在仿真分析的算例中,使用相对误差值作为参数配置的指标,其计算公式为:

$$\lambda_m = \frac{\|G^{n+1} - G^n\|}{\|G^n\|^2} \quad (8)$$

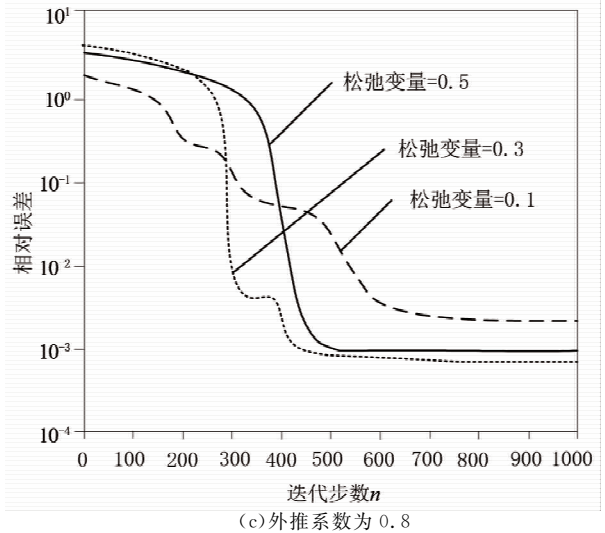
式中, λ_m 为不同参数表现下算法的相对误差; G^{n+1} 和 G^n 分别表示第 $n+1$ 次和第 n 次迭代过程中生成的路径出发率。由该公式可以得到算法误差如图4所示。



(a)外推系数为0.2



(b)外推系数为0.5



(c)外推系数为0.8

图4 不同参数表现下算法相对误差

随着迭代次数的增加,所有算法的相对误差呈现出递减的趋势。对比三个外推系数,由实验图像可以明显看出,当外推系数为0.5时,算法在相同迭代次数下的相对误差明显最小。在其中,松弛变量为0.5的相对误差则低于松弛变量为0.1和0.3。因此在本仿真实验中,设置松弛系数为0.5,外推系数为0.5。

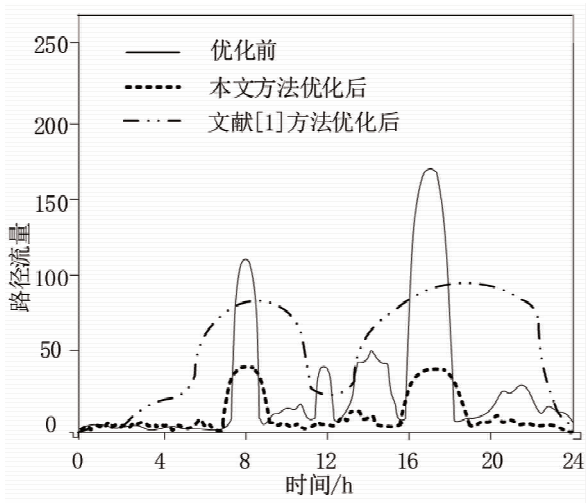
2.3 路径流量调度结果

对比24h内的路径流量,应用本文方法和文献[1]方法进行调度测试,可以得到三种路网模型的均衡性优化调度效果,并依据路径流量对比优化前的调度效果,如图5所示。

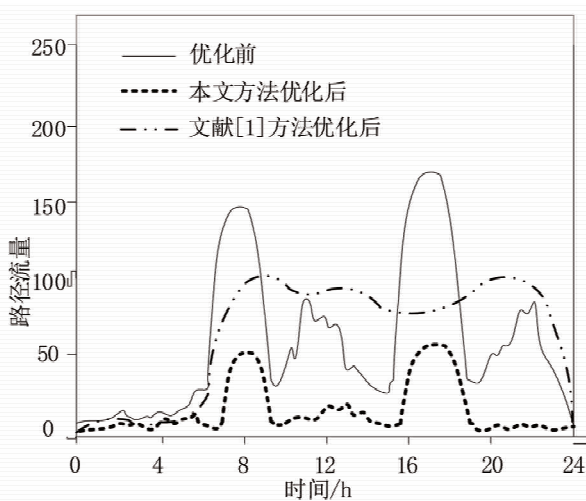
路径流量可以直接表示该路网交通流量的大小,在三种路网的流量调度模型中,可以明显看出经过本文方法优化处理的调度结果路径流量小于优化前的路径流量,且优化效果优于文献[1]方法。在上午8h以及下午17h左右,路径流量会明显大幅度增加,优化前的路径流量在正午12—13h时也会有一个小幅度的增加。但是在优化后,上午、下午的流量突出点中,突出幅度明显降低,路网模型越复杂,降低的幅度越大。

由以上仿真实验的数据可知:在0—7h和20—24h的时段内,路网内行车量较少,因此此时的路径流量较少。在上午7—9h以及下午的16—18h,由于早高峰和晚高峰等原因,此时的路径流量有一个十分明显的凸起,此阶段优化调度后的路径流量远小于优化调度前的路径流量,在剩余时段,该优化调度方法也能够减少同时段内的路径流量。横向对比三个路网模型中的路径流量路网模型越复杂,该优化调度方法所得到的交通流量均衡性

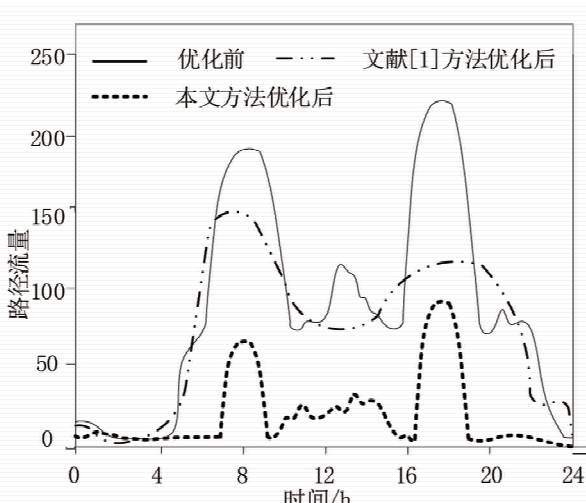
越好。如此可知,本文设计的调度优化方法可以在一定程度上减少早高峰和晚高峰的交通流量,避免路段拥堵。



(a) 路网模型 A



(b) 路网模型 B



(c) 路网模型 C

图 5 流量调度优化结果

3 结 论

设计了一种基于节点元胞划分的智慧城市路网交通流量均衡性优化调度方法,计算了智慧城市路网各路段交通流量,然后建立交通节点元胞划分模型,最后设计了相应的优化调度算法,精准分析路径流量变化情况;设置相对误差最小的参数,获取路径流量,能够对路网交通的流量均衡性进行优化,在早高峰以及晚高峰时段,路径流量远小于优化前的路径流量,且路网模型越复杂,调度效果越好。

参考文献

- [1] 郑玉馨,胡志华.考虑信息诱导的随机均衡交通流逐日演化模型[J].公路交通科技,2022,39(3):133-142,151.
- [2] 王忠宇,王玲,王艳丽,等.基于网络变结构优化的大型活动交通拥堵预防方法[J].浙江大学学报(工学版),2021,55(2):358-366.
- [3] 刘诗序,贺朝阳,朱建超,等.自动驾驶环境下交通均衡分配模型及算法[J].福州大学学报(自然科学版),2022,50(2):249-257.
- [4] 王超发,王文隆,蔡鑫.基于新老司机道路选择行为的交通流均衡研究[J].运筹与管理,2021,30(6):12-18.
- [5] 陈秀锋,吴阅晨,邴其春,等.基于类锚虚拟线圈的多流向车流量检测算法[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(2):51-57.
- [6] 罗舒琳,张存保,张泰文,等.面向常发拥堵点的主动交通诱导方法[J].交通信息与安全,2021,39(5):68-75.
- [7] 徐光明,陈艳琴,韩春阳,等.基于摩托车禁行方案的多模式交通网络均衡分析[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(1):243-255.
- [8] 周雅,谢卓辰,刘沛龙,等.基于区域分流的低轨卫星星座星间负载均衡路由算法[J].中国科学院大学学报,2021,38(5):687-695.
- [9] 吴中明,李敏,徐红利.求解动态交通配流问题的快速投影梯度算法[J].系统工程理论与实践,2021,41(10):2696-2709.
- [10] 何胜学,金梦宇.多用户多准则多方式下基于超级网络的公交客流均衡分配[J].计算机应用研究,2021,38(8):2418-2422.
- [11] 孙超,宋茂灿,陈志超,等.观测路径出行时间下随机网络交通需求估计[J].中国公路学报,2021,34(3):206-215.
- [12] 张诚,汪成银,陈志伟,等.基于空间流量度的城市路网关键节点挖掘方法[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(6):28-35.
- [13] 田丽君,陈金凤,徐淑贤.双模式系统中组合策略与通行能力协同优化[J].系统工程理论与实践,2021,41(9):2355-2366.
- [14] 曹波,林文.高速公路路网运行指数评估模型应用研究[J].公路,2021,66(2):224-228.
- [15] 余孝军,刘作志,舒亚东.ATIS作用下弹性需求混合交通均衡的效率损失[J].交通运输系统工程与信息,2020,20(3):125-129,155.
- [16] 徐菁,靳诚.江苏省县域单元旅游发展与交通流量相互关系研究[J].地域研究与开发,2020,39(5):82-87.