

# 基于绿灯需求度的单点公交信号优先控制策略

柳祖鹏<sup>1,2</sup>, 李克平<sup>1</sup>, 倪颖<sup>1</sup>

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 武汉科技大学 汽车与交通工程学院, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 传统的公交优先控制策略无法有效地解决公交车辆的多向请求问题. 提出了绿灯需求度的概念, 设计了绿灯相位、红灯相位下绿灯需求度的计算方法, 提出了一种基于绿灯需求度的相位切换决策流程. 充分考虑公交车辆和社会车辆的到达、排队和等候情况, 计算得到考虑公交优先的绿灯需求度, 在此基础上进行相位切换决策可以实现基于绿灯需求度的公交信号优先控制. 仿真测试和结果分析表明, 该控制策略比常规公交优先控制策略更有效; 相比跳相序方法, 定相序的控制策略优先效果略差, 但是对社会车辆的负面影响更小; 当背景流量增加时, 公交车辆延误增加很小, 但社会车辆延误增加较多.

**关键词:** 交通控制; 公交信号优先; 多向请求; 绿灯需求度; 相位切换决策

**中图分类号:** U 491.232

**文献标志码:** A

## Isolated Transit Signal Priority Control Strategy Based on Demand Degree of Green

LIU Zupeng<sup>1,2</sup>, LI Keping<sup>1</sup>, NI Ying<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Automobile and Traffic Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** The traditional transit signal priority control strategy cannot effectively deal with multiple priority requests from different directions. The concept of demand degree of green (DDG) is proposed, and its calculation on green phase and red phase is designed. The decision-making flow of phase change based on demand degree of green is proposed. By taking full account of the transit vehicles and general vehicles arrival, queue and waiting the DDG with the transit priority is calculated. Subsequently, transit signal priority control based on DDG is realized by the phase change decision-making. Simulation test and analysis show that the proposed control strategy is more efficient than traditional transit priority

control strategy. Compared with the skipped phase sequence, the priority effect of control strategy based on fixed phase sequence is slightly worse, however, the negative impact of general vehicles is less. When the traffic volume is increased, the increase of average delay of transit vehicles is small; however, the increase of average delay of general vehicles is quite large.

**Key words:** traffic control; transit signal priority; multiple requests; demand degree of green (DDG); phase change decision-making

优先发展公共交通是解决大城市交通拥堵的有效方法之一. 公交信号优先 (transit signal priority, TSP) 是指在道路运行层面给予公交车辆通行时间优先的信号控制策略<sup>[1]</sup>. 公交信号优先经过 40 多年的研究, 形成了从最初的手动优先发展到被动优先、主动优先以及最新的实时优先, 取得了很多有价值的研究成果<sup>[2-3]</sup>.

国内的公共交通系统有流量大、线路多、发车频率高的特点, 经常在交叉口出现不同方向有多辆公交车同时到达的情况. 国内外学者对多向请求公交优先的研究比较少, 马万经等<sup>[4-5]</sup>运用动态规划方法建立数学模型, 案例分析表明相对于先到先服务的优先申请服务方法, 该模型能够显著降低优先申请的总人延误和总车延误. Head 等<sup>[6]</sup>应用甘特图、关键技术法、计划审批技术方法等现代项目管理方法建立数学模型, 算例分析表明该模型的延误比先到先服务方式有所减少. He 等<sup>[7]</sup>在车路协同环境下研究多向请求公交优先, 建立混合整数非线性规划的数学模型并求解, VISSIM 仿真结果该方法可以得到更优的解. 以上基于优化模型的控制方法可以解决多向请求问题, 但是建模的前提假设存在不合理之处, 且模型的求解过程复杂, 导致控制策略的通用性

收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 国家自然科学基金 (51178343)

第一作者: 柳祖鹏 (1979—), 男, 博士生, 主要研究方向为交通信息工程及控制. E-mail: 1010120035@tongji.edu.cn

通讯作者: 倪颖 (1984—), 女, 讲师, 工学博士, 主要研究方向为交通控制、交通仿真. E-mail: ying\_ni@tongji.edu.cn

较差。

韩平超<sup>[8]</sup>提出了相位需求度的概念,设计了相位需求度的计算方法和控制流程,但是相位需求度计算时只考虑了时间因素,无法合理地反映各个相位对绿灯信号的需求程度。

本文提出了绿灯需求度(demand degree of green, DDG)的概念,设计了更合理的绿灯需求度计算方法,提出一种以绿灯需求度为基础、基于逻辑规则的公交信号优先控制策略,以解决单点交叉口公交优先的多向请求问题。

## 1 绿灯需求度

绿灯时间是信号控制交叉口最宝贵的时间资源,不同相位在周期中的不同时间对绿灯信号的需求程度各不相同。

### 1.1 绿灯需求度的概念

对于红灯相位,“绿灯需求度”是指该相位在等待绿灯通行时,迫切需要得到绿灯信号的需求程度。绿灯需求度的值随等待时间和排队车辆数的增加而增大。

对于绿灯相位,“绿灯需求度”是指该相位在绿灯放行过程中,需要继续保持绿灯信号的需求程度。

$$DDG = \begin{cases} 1 & G \leq G_{\min} \\ 1 - \frac{G_{i+1} - G_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}} & G > G_{\min} \text{ 和 } G'_i < G \leq G'_{i+1}, i = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & G > \max\{G'_i\} \text{ 或 } G \geq G_{\max}, i = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $DDG \in [0, 1]$ , 为绿灯相位的绿灯需求度;  $G$  为绿灯相位的当前绿灯时间;  $G_{\min}$  为该相位的最小绿灯时间;  $G_{\max}$  为该相位的最大绿灯时间;  $G_i$  为最小绿灯后检测到第  $i$  辆车的绿灯时刻;  $G'_i = G_i + \Delta G$ , 为检测到第  $i$  辆车后, 绿灯延长的结束时刻; 其中  $\Delta G$  为单位延长时间, 由检测器距停车线的距离除以平均车速计算得到, 不同相位检测器布设距离不同时, 应分别计算各相位对应的  $\Delta G$ 。

以图 1 为例, 假设在最小绿灯结束前的  $G_1$  时刻检测到第 1 辆车, 之后在  $G_2$ ,  $G_3$  时刻先后检测到第 2, 3 辆车, 具体的计算过程如下:

(1) 当  $G \leq G_{\min}$  时, DDG 总是为 1;

(2)  $G_1$  时刻检测到第 1 辆车后, 当  $G \leq G'_1$  时, 一直保持  $DDG=1$ ;

(3)  $G_2$  时刻( $G_2 < G'_1$ )检测第 2 辆车后, 当  $G > G'_1$  时, 根据式(1)有  $DDG = 1 - [(G_2 - G_{\min}) / (G_{\max} - G_{\min})]$ , 计算得到绿灯需求度, 并在  $G \leq G'_2$  期间一

绿灯需求度的值随绿灯时间的增加而减少, 同时与是否持续有车辆到达有关。

传统的全感应控制在相位切换决策时, 无法同时考虑本相位和冲突相位的车辆到达和排队情况。本文提出的绿灯需求度是一种衡量不同相位对绿灯信号需求程度的指标, 在此基础上进行绿灯需求度的对比, 实现基于逻辑规则的感应控制。

### 1.2 绿灯相位下绿灯需求度的计算

绿灯相位的绿灯需求度与绿灯放行时间和后续车辆到达情况有关。车辆到达情况由布设在各进口道停车线前的“检入检测器”检测和统计得到, 检测器离停车线的距离根据交叉口的道路条件和交通流量确定, 一般设在车行道分界线的白色实线末端附近。

绿灯需求度的值随时间和车辆到达情况由 1 下降到 0, 变化过程如下: 在最小绿灯时间内, 绿灯需求度设置为最大值 1; 最小绿灯时间后, 根据车辆检测情况, 绿灯需求度由 1 减小; 若检测到一辆车到达, 先计算该时刻的绿灯需求度, 计算公式见式(1), 在单位延长时间内保持绿灯需求度的值不变; 若单位延长时间后无后续来车, 绿灯需求度设置为最小值 0; 若一直有持续来车, 绿灯需求度逐级减小, 并在最大绿灯时间后置为 0。

直保持 DDG 的值不变。当检测到第 3 辆车时, 仍保持第 2 辆车的 DDG 值, 如图 1 中的  $G$  时刻满足  $G < G'_2$  且  $G < G'_3$ , 由于按  $G_2$  计算得到的 DDG 大于按  $G_3$  计算得到的 DDG, 选择其中的较大者作为最终的 DDG;

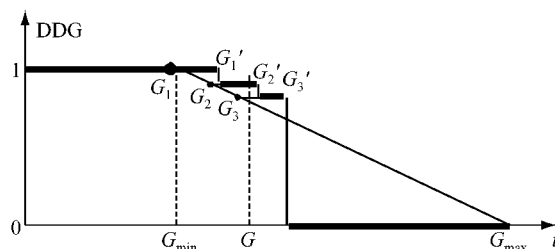


图 1 绿灯相位的绿灯需求度计算示例

Fig.1 Example of calculation of DDG on green phase.

(4) 当  $G > G'_3$ , 且  $i = 3$  为所有  $i$  的最大值时, 说明在  $G_3$  时刻后的  $\Delta G$  时间内都没有后续车辆到达, 则在此时刻后将 DDG 下降为最小值 0。

在图1中,DDG表现为沿各辆车的 $DDG(i)$ 逐级下降,并在最后一辆车的 $\Delta G$ 之后下降为0,变化过程如图中粗线所示。

### 1.3 红灯相位下绿灯需求度的计算

红灯相位的绿灯需求度与等待时间和排队车辆数有关,需求度的值随之由0慢慢增加到1。为了统计红灯相位下的排队车辆数,需要在紧靠停车线的下游(停车线与人行横道之间)布设“检出检测器”,不间断统计检入、检出检测器上的车辆到达脉冲,检入脉冲时排队数增加,检出脉冲时排队数减少,由此可统计得到各个相位在不同时刻的排队车辆数。检入检测器与停车线间的距离决定了检测排队车辆数的最大值,该值与排队车辆的车身长度和平均停车间距有关。

为了综合衡量红灯相位下的排队车辆数和排队时间,构建一个当量延误(equivalent delay, ED)指标:红灯信号开始时,累加该相位下每一秒时间内的等待车辆数,即累加该相位下每一辆车已经等待的时间,计算公式如下:

$$ED = \sum_{t=1}^R \text{veh}(t) \quad (2a)$$

$$ED' = \sum_{t=1}^R \text{veh}'(t) \quad (2b)$$

式中:ED为当量延误,veh·s;R为当前红灯时间;t为时间变量,从1增加到R;veh(t)为t-1~t这1s内该相位下的排队车辆数;ED'为该相位在二次排队情况下的当量延误;veh'(t)为二次排队最坏情况下每一秒的车辆排队数。

根据车辆检测器的检测信息,经统计可以得到该相位下每一秒的车辆排队数veh(t),由此计算得到的当量延误ED可以全面地反映红灯相位下的等待时间和排队情况。

为了合理衡量红灯相位下的绿灯需求度,以车流进行二次排队时的车辆到达情况作为最坏情况。根据仿真或实际观测和统计可以得到veh'(t),将其作为已知条件保存在控制策略中。按式(2b)由veh'(t)计算得到的ED'可以全面地反映二次排队时的等待时间和排队情况。

将实际检测的车辆到达情况与二次排队的到达情况做对比,得到该相位下的绿灯需求度,计算公式如下:

$$DDR_i = \frac{ED}{ED'} \quad (3)$$

式中: $DDR_i \in [0, 1]$ ,为红灯相位i的绿灯需求度;ED为该相位下实际检测到车辆排队时的当量延误。

如果某一相位在红灯相位开始时就有车辆二次排队的情况,此时计算得到 $DDR_i = 1$ ,说明刚刚结束的绿灯时间完全不能满足通行需求,此时该相位对绿灯信号的需求还非常高, $DDR_i$ 的值达到最大值。流量较小时,如果红灯初期没有检测到车辆到达和等待,计算得到 $DDR_i = 0$ ,说明此时该相位的绿灯需求度非常低;随着后续车辆的到达和排队以及等待时间的增加,绿灯需求度 $DDR_i$ 慢慢增加。

## 2 基于绿灯需求度的相位切换决策

绿灯和红灯相位下的绿灯需求度都是0到1之间的变化的值,值的大小可以合理地反映各个相位对绿灯信号的需求程度,在此基础上可以通过比较红灯、绿灯相位下绿灯需求度的大小来进行相位切换决策。

### 2.1 两相位下的相位切换决策

两相位信号控制条件下,只有一个绿灯相位和一个红灯相位。在绿灯初期,计算得到的DDG较大(最小绿灯时间内 $DDG = 1$ ),同时DDR较小;当 $DDG \geq DDR$ 时,说明此时的绿灯相位更需要绿灯信号,应该继续保持当前绿灯信号。

随着时间的推移,绿灯相位的DDG会不断减小,红灯相位的DDR随时间和车辆到达排队增大。当出现 $DDG < DDR$ 时,说明红灯相位更需要绿灯信号,应该在此时进行相位切换操作。

### 2.2 多相位下的相位切换决策

多相位的信号控制系统中,假设信号相位不进行动态组合,相序是固定的或不固定的,基于绿灯需求度的相位切换决策可以有更多的变化。

以传统的四相位信号控制为例,除去黄灯和全红时间的任意时刻总是有1个绿灯相位和3个红灯相位,即可同时计算得到1个DDG和3个 $DDR_i$ 。选择3个 $DDR_i$ 中的最大者 $DDR^M$ 参与到相位切换决策的比较中,可以有效地减少冲突相位的平均延误,提高信号控制的效率。

DDG和 $DDR^M$ 进行比较,如果DDG较小,在选择下一个相位时有两种相序变化方法:①定相序:切换到固定相序中的下一相位;②跳相序:切换到 $DDR_i$ 值最大的相位,即实现相位的跳跃切换。

基于绿灯需求度的控制策略以1s为循环时间,重复执行如图2所示的控制流程:①实时检测各个方向车辆到达、排队,并识别出高优先级公交车辆;②在第一步的基础上,计算得到各个相位的绿灯需

求度;③以绿灯需求度为依据进行相位切换决策,输出决策结果。

### 3 基于绿灯需求度的公交信号优先控制

为实现公交信号优先,在绿灯需求度的计算过程中综合考虑公交车辆和社会车辆的到达、排队和等候情况,在此基础上进行相位切换决策,实现基于绿灯需求度的公交信号优先控制(图2)。

交叉口设有公交专用进口道时,通过专用道上的环形线圈检测器或射频检测器可以实现对公交车辆的检测。无公交专用道的情况下,只能通过射频检测器从社会车辆中区分出需要优先的公交车。

有条件优先需要区分高优先级公交车和普通公交车。通过基于射频技术的检测器,由公交车向信号控制系统发送载客数、晚点时间等信息,再按预设的条件区分出不同的优先级别。

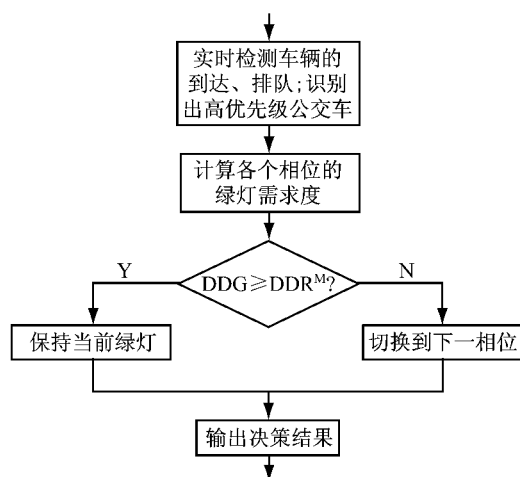


图2 基于绿灯需求度的信号控制流程图

Fig.2 Flow chart of signal control based on DDG

#### 3.1 考虑公交优先时 DDG 的计算

在绿灯相位检测到社会车辆时,按式(1)计算 DDG。检测到公交车辆到达时:如果是高优先级的公交车到达,将当前的 DDG 设置为 1,并且在单位延长时间内保持 DDG 不变。如果是普通公交车到达,参考社会车辆计算出当前时刻的 DDG,并在单位延长时间内保持值不变。

特殊情况下,在最大绿灯时间结束前检测到高优先级公交车到达,依然在单位绿灯延长时间内保持 DDG 值为 1,此时该相位的绿灯时间可能会超过了原先设置的最大绿灯时间,但是不会超过  $G_{\max} + \Delta G$ ;这相当于有的公交优先控制策略中的第 2 最大

绿灯时间<sup>[9]</sup>。如果在最大绿灯前检测到普通公交车,则在最大绿灯后将 DDG 设置为 0。

记  $G_{Bi}$  为检测到的第  $i$  辆高优先级公交车的时刻;  $G_{bi}$  为检测到的第  $i$  辆普通公交车的时刻;  $G_{Bi}' = G_{Bi} + \Delta G_B$ ,  $G_{bi}' = G_{bi} + \Delta G_B$ ,  $G_{Bi}'$  和  $G_{bi}'$  为第  $i$  辆公交车的绿灯延长结束时刻;  $\Delta G_B$  是指检测到公交车后给出的单位延长时间;设有公交专用道时,  $\Delta G_B$  与专用检测器距停车线的距离有关;无公交专用道时,  $\Delta G_B$  等于社会车辆的单位延长时间  $\Delta G$ 。

以图3为例,假设先后检测到3辆社会车辆后,在  $G_{B1}$ ,  $G_{b1}$  时刻先后检测到1辆高优先级公交车和1辆普通公交车,再在  $G_4$  时刻检测到一社会车辆。

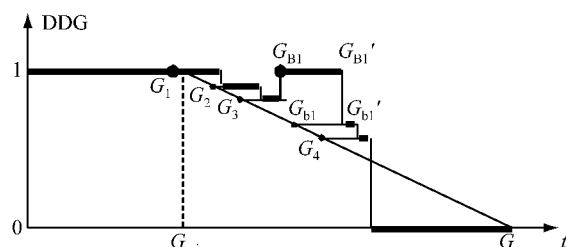


图3 绿灯相位下考虑公交优先的绿灯需求度计算示例

Fig.3 Example of calculation of DDG on green phase when taking into account transit priority

如图3所示,在最小绿灯之后,  $G_{B1}$  时刻检测到的高优先级公交车使 DDG 重新回到最大值 1,之后再逐级下降。完整的 DDG 变化情况如图中粗线所示。

#### 3.2 考虑公交优先时 $DDR_i$ 的计算

在考虑有条件优先的情况下,将普通公交车视为社会车辆对待,单独记录高优先级公交车的到达和排队情况。

计算红灯相位下的绿灯需求度时,按式(2)和式(3)计算社会车辆(含普通公交车)的绿灯需求度,记为  $DDR_i^{veh}$ ;按类似的方法计算高优先级公交车的绿灯需求度,记为  $DDR_i^{bus}$ 。

在实施公交优先信号控制时,为了不对社会车辆的通行造成较大的负面影响,在计算红灯相位的绿灯需求度时,保留  $DDR_i^{veh}$  不受权重  $w$  的影响,只有  $DDR_i^{bus}$  受权重  $w$  的影响;即以社会车辆的绿灯需求度为基础,再加上部分的公交车绿灯需求度。计算公式如下:

$$DDR_i = DDR_i^{veh} + w \cdot DDR_i^{bus} \quad (4)$$

式中,  $w$  为公交车绿灯需求度的权重。

$DDR_i^{veh}$  和  $DDR_i^{bus}$  都是 0 到 1 之间的值,但是按式(4)的“不平衡加权”计算得到的  $DDR_i$  将会出现

大于 1 的情况. 为了保证图 2 的相位切换决策能正常工作, 规定当  $DDR_i > 1$  时, 重置  $DDR_i = 1$ .

### 3.3 考虑公交优先的相位切换决策

在计算绿灯相位、红灯相位的绿灯需求度时, 都是在社会车辆的基础上增加了对公交车辆的特殊考虑, 并且都能使绿灯需求度更快地增加 1.

两相位或多相位的相位切换决策按图 2 所示的流程进行; 在多相位情况下, 同样可以实现两种不同的相序变化方法: 定相序和跳相序.

## 4 仿真测试与分析

为了验证基于绿灯需求度的公交优先控制策略的效果, 在 VISSIM 微观仿真软件中建立仿真模型, 利用 VISSIM 的 VAP 模块编程实现实时检测车辆、计算绿灯需求度和进行相位切换决策.

### 4.1 仿真测试环境

以十字型渠化交叉口为研究背景, 道路条件如图 4 所示, 其中东西方向设有直行、居中的公交专用道, 南北方向未设公交专用道.

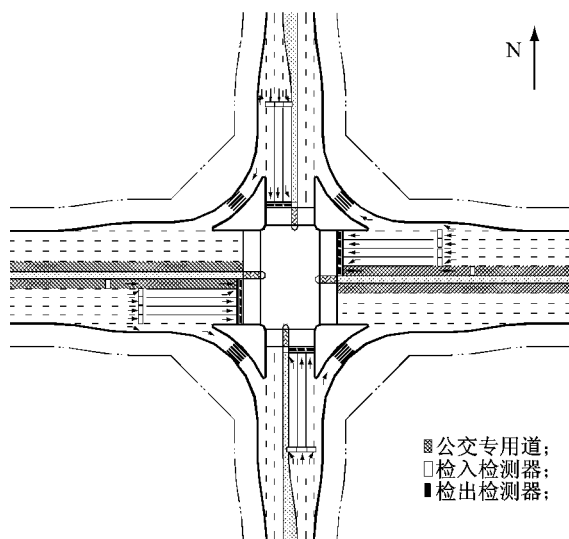


图 4 交叉口布局示意图

Fig.4 Sketch of intersection layout

信号控制采用常规四相位控制方案, 4 个相位分别为: ①东西直行、②东西左转、③南北直行、④南北左转, 其中仅相位 1 和 3 有高优先级公交车的通行需求, 过街的行人和非机动车与直行机动车一起放行. 进口道每车道布设检入和检出检测器, 检测器的位置如图 4 所示.

感应控制参数按照仿真模型的实际情况进行取值. 式(4)中的公交优先权重  $w$  经仿真优化后取值为 0.6. 仿真测试的基础流量见表 1.

表 1 仿真模型中的基础流量

Tab.1 Basic traffic volumes in simulation model

进口	转向	社会车辆 (含普通公交)/veh	高优先级 公交车辆/veh	过街行人 人数/人
东进口	左转	208		
	直行	1 387	192	214
	右转	277		
南进口	左转	102		
	直行	601	106	299
	右转	150		
西进口	左转	192		
	直行	1 480	164	326
	右转	296		
北进口	左转	83		
	直行	642	116	242
	右转	161		

仿真运行时, 每个场景选取 12 个不同的随机种子, 每个种子共运行 4 000 s, 前 400 s 作为路网车流初始化阶段. 仿真运行结束后, 分别输出社会车辆(含普通公交车)、公交车辆(特指高优先级公交车)以及所有车辆的平均延误作为评价指标.

### 4.2 控制策略的优先效益分析

在 80% 的基础流量下, 采用不同的信号控制策略进行优先效益分析, 共设置 5 种仿真场景: ①定相序 NoTSP: 相序按相位 1, 2, 3, 4 固定次序循环, 采用基于需求度的、不考虑公交优先的感应控制策略; ②定相序 TSP: 相序按固定次序循环, 采用基于需求度的公交优先控制策略; ③跳相序 NoTSP: 相序根据绿灯需求度大小实时变化, 采用基于需求度的、不考虑公交优先的感应控制策略; ④跳相序 TSP: 相序实时变化, 采用基于需求度的公交优先控制策略; ⑤常规 TSP: 相序按固定次序循环, 同时采用常规的绿灯延长和绿灯提前公交优先控制策略<sup>[10]</sup>.

分别对 5 种场景进行仿真试验, 得到各个场景的平均延误评价指标. 对比场景 1 和 2, 分析在定相序条件下的公交优先效益, 得到平均延误如图 5 所示, 图中百分比表示定相序 TSP 相对于定相序 NoTSP 的平均延误变化比例.

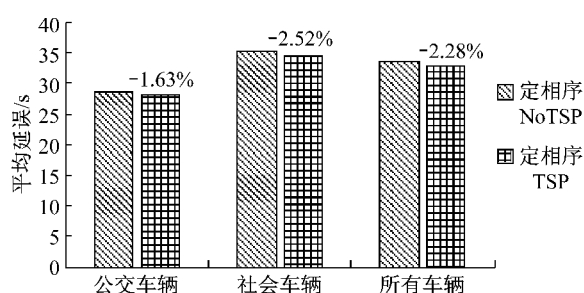


图 5 定相序下的公交优先效益对比

Fig.5 Benefit comparison based on fixed phase sequence

由图5可以看出,在基于绿灯需求度的感应控制、固定相序的前提下,考虑了公交优先的控制策略可以使三个平均延误都有较小的减少.说明在定相序条件下,实施公交优先信号控制,不仅公交车辆受益,社会车辆同时受益.

对比场景3和4,分析在跳相序条件下的公交优先效益,得到平均延误对比如图6所示,图中百分比表示跳相序TSP相对于跳相序NoTSP的平均延误变化比例.

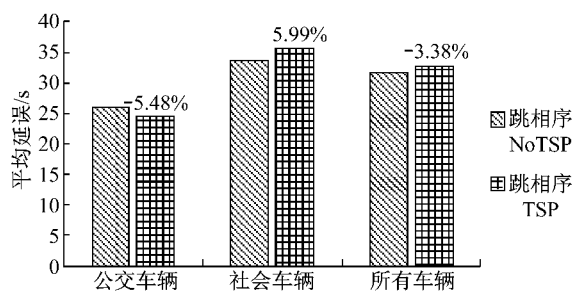


图6 跳相序下的公交优先效益对比  
Fig.6 Benefit comparison based on skipped phase sequence

由图6可以看出,在基于绿灯需求度的感应控制、相序不固定的前提下,跳相序TSP下公交车辆的平均延误有较小的减少,但社会车辆和所有车辆的平均延误都有较小的增加.说明在跳相序条件下,实施公交优先控制,可以使公交车辆受益,但是会对社会车辆产生一定的负面影响.

由图5和图6可以看出,两种情况下公交车辆的平均延误减少都比较小,说明公交优先效果不是很明显.这与基于绿灯需求度的控制策略本身有关:该控制策略已经能够比较合理地实现全感应控制,公交车辆在该控制策略下已经有所受益,因此导致优先效益不明显.

为了更好地验证基于绿灯需求度控制策略的公交优先效益,将该控制策略与常规的公交优先策略进行对比和分析.对比场景1、3和5,得到三种情况下的平均延误对比如图7所示,图中百分比表示相序TSP、跳相序TSP相对于常规TSP的平均延误变化比例.由图7可以看出,两种基于绿灯需求度的公交优先控制策略的公交车辆、所有车辆的平均延误均小于常规公交优先策略下的平均延误,说明基于绿灯需求度的控制策略优先效果非常明显.同时,三者的社会车辆平均延误相差不大,说明对社会车辆的影响无显著差别.

对比定相序TSP和跳相序TSP的平均延误,发现跳相序TSP的公交车辆平均延误更小,但是社会

车辆平均延误更大.说明跳相序TSP的优先效果更明显,但是对社会车辆负面影响更大.

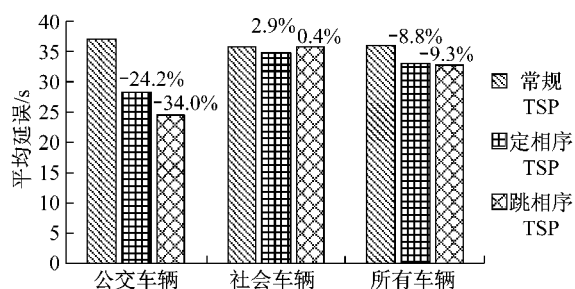


图7 三种公交优先控制策略的平均延误对比  
Fig.7 Comparison of average delay for three TSP strategy

#### 4.3 控制策略的敏感性分析

以基础流量为背景,设置6种不同流量的场景:从70%基础流量,按10%递增,增加到120%.6种场景中分别选用跳相序TSP和定相序TSP信号控制策略,分析基于绿灯需求度的公交优先控制策略在不同流量强度下的公交优先效果.

分别对6种不同流量的场景进行仿真试验,得到不同流量下的公交车辆和社会车辆的平均延误评价指标变化情况如图8所示,图例中的Bus代表高优先级公交车,Veh代表社会车辆和普通公交车.

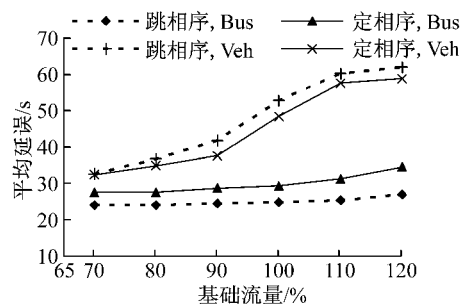


图8 两种控制策略在不同流量下的平均延误变化  
Fig.8 Average delay change of two different control strategy on different volumes

由图8可以看出,两种不同的相序变化方法在不同的流量下,平均延误的变化趋势基本一致.随着流量的增加,公交车辆的平均延误平缓增大,但是社会车辆的平均延误快速增加.说明该控制策略在流量较大时,公交优先效果仍比较好,但是对社会车辆的负面影响更大.

对比定相序TSP和跳相序TSP两种控制策略,可以得到类似的结论:跳相序TSP的优先效果更明显,但负面影响也更大.这是由于仿真模型中假设仅直行相位有高优先级公交车,在跳相序TSP控制策略中,左转相位经常被跳相.如果在左转相位中也有

高优先级公交车,相应的负面影响会有所降低.实际应用时,建议优先选择定相序的控制策略;只有在车辆组成中需要优先的公交车辆占比非常大时,可以适当考虑选用跳相序的控制策略.

## 5 结语

基于绿灯需求度的公交优先控制策略的核心是绿灯需求度的计算,在计算时充分考虑了公交车辆和社会车辆的到达、排队和等待情况,能够合理地反映各个相位对绿灯信号的需求程度.在此基础上按照简单的逻辑规则进行相位切换决策可以实现高效、合理的公交优先感应控制.

仿真测试和结果分析表明,基于绿灯需求度的公交优先控制策略比常规的绿灯延长和绿灯提前控制策略更有效.定相序的控制策略优先效果略差,但是对社会车辆的负面影响更小.在不同的流量条件下,基于绿灯需求度的公交优先控制策略均可有效地为公交车辆提供优先,但是随流量增大对社会车辆的负面影响也增加.

绿灯需求度的计算是以相位结构固定为前提的,不能实现动态地相位组合,后续将对此进行深入研究.单点交叉口是干线协调的基础,后续研究可在单点的基础上扩展到干线或网络层面.另一方面,目前的研究是在仿真环境中进行测试和验证,后续有待于在实践中进行进一步的检验.

## 参考文献:

- [1] 邹智军. 交通走廊公交信号优先算法[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2008, 36(10): 1368.  
ZOU Zhijun. An arterial bus signal priority algorithm[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2008, 36(10): 1368.
- [2] 季彦婕, 邓卫. 交叉口公交优先技术研究现状及发展综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2004, 4(1): 30.  
JI Yanjie, DENG Wei. A Review of the development and current situation on bus priority at intersections[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2004, 4(1): 30.
- [3] 马万经, 杨晓光. 公交信号优先控制策略研究综述[J]. 城市交通, 2010, 8(6): 70.  
MA Wanjing, YANG Xiaoguang. A review of prioritizing signal strategies for bus services[J]. Urban Transport of China, 2010, 8(6): 70.
- [4] 马万经, 杨晓光. 基于动态规划的公交信号优先多申请排序模型[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2009, 49(12): 1939.  
MA Wanjing, YANG Xiaoguang. Serve sequence optimization of multiple bus signal priority requests based on dynamic programming[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2009, 49(12): 1939.
- [5] Ma W J, Liu Y, Yang X G. Dynamic programming model for optimal bus signal priority control with multiple requests[C/CD]//Presented at 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: TRB, 2011.
- [6] Head L, Gettman D, Wei Z. Decision model for priority control of traffic signals[J]. Journal of the Transportation Research Board, 2006, 1978: 169.
- [7] He Q, Head K L, Ding J. Heuristic algorithm for priority traffic signal control [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2011, 2259: 1.
- [8] 韩平超. 基于相位需求度的公交优先信号控制策略研究[D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 2011.  
HAN Pingchao. Research on transit signal priority control strategy based on phase need degree[D]. Shanghai: College of Transportation Engineering of Tongji University, 2011.
- [9] 徐洪峰, 李克平, 郑明明. 基于逻辑规则的单点公交优先控制策略[J]. 中国公路学报, 2008, 21(5): 96.  
XU Hongfeng, LI Keping, ZHENG Mingming. Isolated transit signal priority control strategy based on logic rule[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(5): 96.
- [10] Baker R J, Dale J, Head L, et al. An overview of transit signal priority[R]. Washington D C: Advanced Traffic Management System Committees and Advance Public Transportation System Committees, 2004.