

专用道公交信号优先协调控制方法研究

邹 莉 马万经 孙 拓

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海市曹安公路 4800 号, 201804)

摘 要: 专用道公交信号优先能显著提高公交系统运行效率, 本研究针对单个交叉口主动信号优先策略可能失效的问题, 以干线交叉口群为对象, 建立专用道公交信号优先协调控制模型, 在保证社会车辆协调控制效果不受影响的前提下, 协调各个交叉口的公交主动优先策略触发与否, 提高公交车辆运行效率的同时, 减少主动优先策略被触发的次数, 避免不必要的时空资源浪费。专用道公交信号优先协调控制模型为混合整数线性规划模型, 利用分支定界法求解。以延安路常德路-茂名北路路段为例, 对模型进行验证分析, 结果表明, 专用道公交信号优先协调控制模型使得主动优先策略被触发的次数降低了 33%, 并能减少公交车辆的延误和停车。

关键词: 公交信号优先; 协调控制; 单点优先失效

The Coordination of Transit Signal Priority Strategy in Bus Lane

Zou Li Ma Wanjing Sun Tuo

(The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education,
4800 Cao'an Road, Shanghai, 201804, P.R. China)

Abstract: Traffic signal priority can significantly improve the efficiency of public transport system. Focused on the problem that the active priority strategies of a single intersection may fail, this study established coordination model of transit priority strategies based on the arterial intersection group. Coordinate the transit priority strategies to trigger or not, under the premise of ensuring the coordination effect of social vehicles is not affected. Reduce the number of active priority strategy is triggered to avoid unnecessary waste of time and space resources, and improve the efficiency of public transport vehicles at the same time. Coordination model of transit priority strategies is formulated as a mixed-integer linear program, which can be solved by the standard branch-and-bound technique. Taking the Changde Road - Maoming North Road section of Yan'an Road as an example, the model is validated and analyzed. Results have demonstrated that the model reduces the number of transit priority strategies triggered by 33% and reduces delays and number of stops on transit vehicles.

Keywords: Transit Signal Priority, Signal Coordination, Failure of TSP

1 引言

城市公共交通具有集约高效、节能环保等优点, 优先发展公共交通是构建资源节约型、环境友好型社会的战略选择。公交专用道的建设和公交信号优先策略的应用, 对于提高公交服务水平、增强公交系统吸引力有着重要的作用。

公交信号优先策略一般分为被动优先策略、主动优先策略和实时优先策略三类^[1,2]。被动优先是针对离线方案进行优化, 不考虑交叉口是否有公交车到达; 主动优先是为检测到的公交车辆提供包括绿灯延长、红灯早断、相位插入等优先服务; 实时优先基于实时检测数据提供信号优先的同时, 以公交车和其他社会车辆的综合效益最优为目标进行信号方案优化。信号协调控制是以交叉口群为控制对象, 主要方法分为两类: 一类是基于带宽的方法^[3~7], 以绿波带为对象建立模型, 以带宽最大为目标求解, 使得在绿波带内通行的车辆能不停车地通过研究路网内沿线所有交叉口; 另一类是基于延误的方法^[8~12], 以车流为对象建立数学模型, 用以模拟各种配时方案组合情况下车流运动状况的变化, 以延误时间、停车次数、油耗、拥挤程度等综合指标最小为目标函数, 通常采用启发式算法进行求解。

对公交车辆采用的信号控制策略中, 最为常用的是以单个交叉口为控制对象的主动优先策略^[13, 14], 而较少考虑干线交叉口群的协调控制, 其原因是公交车辆的行程时间不稳定, 而且很少形成车队。然而单个交叉口的优先策略对公交车通过整个交叉口群的延误的降低, 可能是有益的, 也可能是无益, 公交车在上游交叉口延误减少的时间可能会在下游交叉口浪费掉, 也就是说, 单个交叉口的信号优先可能不仅是无效的, 还会对其他社会车辆带来一定的负面影响^[15]。

针对上述问题, 本研究提出了专用道公交信号优先协调控制方法。研究的空间范围为干线交叉口群, 控制对象包括公交车和其他社会车辆, 在保证社会车辆协调控制效果不受影响的前提下, 协调各个交叉口的公交主动优先策略(绿灯延长、红灯早断、相位插入)触发与否, 确保公交信号优先控制策略不至于失效, 进而避免通行时空资源的浪费、提高公交车辆在整个交叉口群的运行效率。

2 模型假设与参数说明

有 n 个信号控制交叉口的干线路网, 第 i 个交叉口编号 S_i , 在同一个时空图上, 建立社会车辆和公交车辆的控制模型, 如图 1 所示。为线性化模型的约束, 未特别说明的时间变量的单位均为 1 个信号周期。对社会车辆的控制方法, 是以车流为对象, 基于 MAXBAND 模型, 求解得到尽可能宽的绿波带。对公交车辆的控制, 首先做出以下假设: ①公交车辆的行驶速度和停站时间都受到严格的控制; ②每个信号周期内, 一个方向至多有 1 辆公交车到达, 公交车到达控制子区的第一个交叉口的时间服从某个已知的分布 φ 。为方便建模和求解, 将这 1 辆车到达分布离散化处理: 把一个周期 J 等分, 在每一个等间隔的时间点, 都有 1 辆公交车到达(总共有 J 辆公交车), 根据到达分布, 每一个时间点到到达的公交车都有对应的权重 P_j 。用每个方向的 J 辆公交车轨迹线来描述公交车辆的运行情况, 从而建立针对公交车辆的控制模型。

模型中用到的部分变量如下:

O_i ——交叉口 S_i 和 S_{i+1} 的相位差;

z ——周期的倒数;

$C_1(C_2)$ ——最大(最小)周期时长, 单位 s;

$d_i(\bar{d}_i)$ ——交叉口 S_i 和 S_{i+1} 之间的距离, 单位 m;

$r_i(\bar{r}_i)$ ——上行(下行)方向红灯时间;

$w_i(\bar{w}_i)$ ——社会车辆绿波带位置变量;

- $t_i(\bar{t}_i)$ ——上行(下行)方向 S_i 到 S_{i+1} 的行驶时间;
- $b(\bar{b})$ ——上行(下行)方向社会车辆绿波带宽;
- $w_{ij}(\bar{w}_{ij})$ ——上行(下行)方向第 j 辆公交车轨迹点经过 S_i 的位置变量, $j=1,2,\dots,J$;
- $t_{ij}(\bar{t}_{ij})$ ——上行(下行)方向第 j 辆公交车 S_i 到 S_{i+1} 的行驶时间;
- $x_{ij}(\bar{x}_{ij})$ ——上行(下行)方向第 j 辆公交车在 S_i 的停车时间;
- $y_{ij}(\bar{y}_{ij})$ ——上行(下行)方向第 j 辆公交车在 S_i 是否发生停车, $0\sim 1$ 变量;
- $a_i(\bar{a}_i)$ ——上行(下行)方向 S_i 和 S_{i+1} 之间的公交站点的驻站时间, 单位 s。

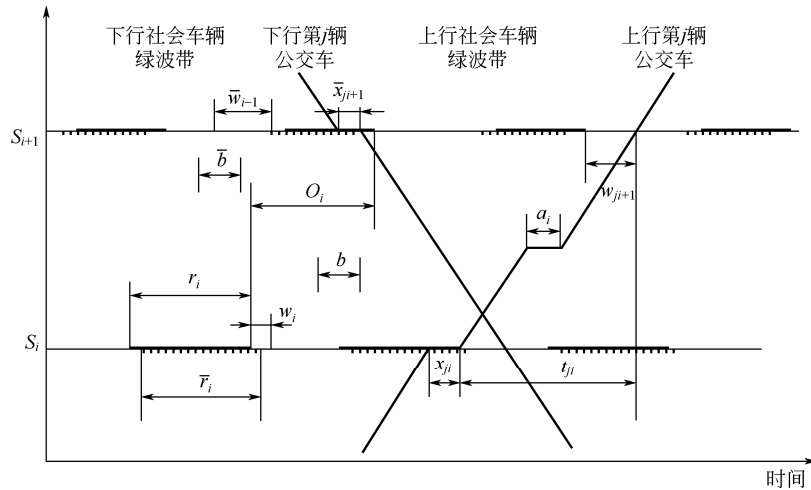


图1 变量说明示意图

3 模型建立

专用道公交信号优先协调控制模型是混合整数线性规划模型, 可利用常规的分支定界法进行模型的求解。模型的建立包括确定模型的目标、社会车辆相关约束、公交车辆相关约束, 以及公交车辆和社会车辆的相互约束等。

3.1 模型目标

模型的目标包括三个部分: 一是社会车流的绿波带宽度最大; 二是公交车辆的延误最小、停车次数最少; 三是公交主动优先策略使用的次数最少。

Max

$$K_1 b + K_{21} \sum_i \sum_j P_j (x_{ji} + \bar{x}_{ji}) + K_{22} \sum_i \sum_j P_j (y_{ji} + \bar{y}_{ji}) + K_{31} \sum_i \sum_j P_j (2 - \sigma 2_{ji} - \bar{\sigma} 2_{ji}) + \\ K_{32} \sum_i \sum_j P_j (2 - \sigma 3_{ji} - \bar{\sigma} 3_{ji}) + K_{33} \sum_i \sum_j P_j (4 - \sigma 4_{ji} - \bar{\sigma} 4_{ji} - \sigma 5_{ji} - \bar{\sigma} 5_{ji}), \\ K_1 \gg K_{21}, K_{22} \gg K_{31}, K_{32}, K_{33} \quad (1)$$

3.2 社会车辆相关约束

社会车辆的绿波带应满足式(2)~式(7)所示的约束: 绿波带的位置在绿灯范围内; 为简化问题, 上下行方向的带宽取相同的值, 也可以根据实际需求情况对两个方向的带宽大小做出调整; 每相

邻两个交叉口之间的上下行两个方向的绿波带位置变量等, 对应同样的相位差, 其中 Δ_i 是交叉口 S_i 上行方向的红灯中心时刻和下行方向的红灯中心时刻的差值。此外, 每段路的行驶速度、相邻路段的速度变化均应满足一定的限值, $e_i, f_i(\bar{e}_i, \bar{f}_i)$ 是社会车辆上行(下行)方向的速度最小值和最大值; $g_i, h_i(\bar{g}_i, \bar{h}_i)$ 是社会车辆上行(下行)方向的相邻路段速度变化的最小值和最大值。

$$\left. \begin{aligned} w_i + b &\leq 1 - r_i \\ \bar{w}_i + \bar{b} &\leq 1 - \bar{r}_i \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$b = \bar{b} \quad (3)$$

$$(w_i + \bar{w}_i) - (w_{i+1} + \bar{w}_{i+1}) + (t_i + \bar{t}_i) + \Delta_i - \Delta_{i+1} = -(r_i + \bar{r}_i)/2 + (r_{i+1} + \bar{r}_{i+1})/2 + m_i$$

$$m_i \text{ 是整数, } i = 1, \dots, n-1 \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} (d_i / f_i)z &\leq t_i \leq (d_i / e_i)z \\ (\bar{d}_i / \bar{f}_i)z &\leq \bar{t}_i \leq (\bar{d}_i / \bar{e}_i)z \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n-1 \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} (d_i / h_i)z &\leq (d_i / d_{i+1})t_{i+1} - t_i \leq (d_i / g_i)z \\ (\bar{d}_i / \bar{h}_i)z &\leq (\bar{d}_i / \bar{d}_{i+1})\bar{t}_{i+1} - \bar{t}_i \leq (\bar{d}_i / \bar{g}_i)z \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

$$b, \bar{b}, w_i, \bar{w}_i \geq 0, i = 1, \dots, n \quad (7)$$

3.3 公交车辆相关约束

对每条公交车辆的轨迹, 同社会车辆的绿波带类似, 应满足每相邻两个交叉口之间的上下行两个方向的轨迹位置变量等对应同样的相位差、每段路的行驶速度、相邻路段的速度变化均应满足一定的限值, 其中 $e'_i, f'_i(\bar{e}'_i, \bar{f}'_i)$ 是公交车辆上行(下行)方向的速度最小值和最大值; $g'_i, h'_i(\bar{g}'_i, \bar{h}'_i)$ 是公交车辆上行(下行)方向的相邻路段速度变化的最小值和最大值。每一辆公交车都有可能在交叉口发生停车, 即 $x_{ji}(\bar{x}_{ji}) > 0$, 此时 $y_{ji}(\bar{y}_{ji}) = 1$, 否则 $y_{ji}(\bar{y}_{ji}) = 0$; 此外, 每个交叉口的等待时间不会超过红灯时间。

$$(w_{ji} - \bar{w}_{ji}) - (w_{ji+1} - \bar{w}_{ji+1}) + (t_{ji} + \bar{t}_{ji}) + (x_{ji} + \bar{x}_{ji}) + \Delta_i - \Delta_{i+1}$$

$$= -(r_i - \bar{r}_i)/2 + (r_{i+1} - \bar{r}_{i+1})/2 + m_{1ji}, m_{1ji} \text{ 是整数, } i = 1, \dots, n-1, j = 1, \dots, J \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} (d_i / f'_i)z &\leq t_{ij} - a_i z \leq (d_i / e'_i)z \\ (\bar{d}_i / \bar{f}'_i)z &\leq \bar{t}_{ij} - \bar{a}_i z \leq (\bar{d}_i / \bar{e}'_i)z \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n-1, j = 1, \dots, J \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} (d_i / h'_i)z &\leq (d_i / d_{i+1})(t_{i+1j} - a_{i+1}z) - (t_{ij} - a_i z) \leq (d_i / g'_i)z \\ (\bar{d}_i / \bar{h}'_i)z &\leq (\bar{d}_i / \bar{d}_{i+1})(\bar{t}_{i+1j} - \bar{a}_{i+1}z) - (\bar{t}_{ij} - \bar{a}_i z) \leq (\bar{d}_i / \bar{g}'_i)z \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n-2, j = 1, \dots, J \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon y_{ji} &\leq x_{ji} \leq \epsilon y_{ji} \\ \varepsilon \bar{y}_{ji} &\leq \bar{x}_{ji} \leq \epsilon \bar{y}_{ji} \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, J, \text{ 其中, } \varepsilon \text{ 是极小的正常数, } \epsilon \text{ 极大的常数.} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{ji} &\leq r_i \\ \bar{x}_{ji} &\leq \bar{r}_i \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, J \quad (12)$$

每个交叉口可对检测到来的公交车采取绿灯延长、红灯早断、相位插入三种主动优先策略, 当 $\sigma 1_{ji}(\sigma 1_{ji}) = 0$, 则代表上行(下行)方向第 j 辆车在交叉口 S_i 绿灯期间通过, 未采取任何主动优先策略; $\sigma 2_{ji}(\sigma 2_{ji}) = 0$, 则上行(下行)方向第 j 辆车在 S_i 获得了绿灯延长通过, 绿灯延长时间的上限是 $EG_i(\overline{EG}_i)$; $\sigma 3_{ji}(\sigma 3_{ji}) = 0$, 则上行(下行)方向第 j 辆车在 S_i 获得了红灯早断通过, 红灯早断时间的上限是 $ER_i(\overline{ER}_i)$; $\sigma 4_{ji}(\sigma 4_{ji}) = 0$, 则上行(下行)方向第 j 辆车在 S_i 利用了插入相位, 插入相位

的时间是 $qL1_i \sim qR1_i(\overline{qL1_i} \sim \overline{qR1_i})$; $\sigma5_{ji}(\overline{\sigma5_{ji}}) = 0$, 则上行(下行)方向第 j 辆车在 S_i 利用了插入相位, 插入相位的时间是 $qL2_i \sim qR2_i(\overline{qL2_i} \sim \overline{qR2_i})$ 。

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq w_{ji} \leq 1 - r_i + \sigma1_{ji} \\ 1 - r_i - \sigma2_{ji} &< w_{ji} \leq 1 - r_i + EG_i + \sigma2_{ji} \\ 1 - ER_i - \sigma3_{ji} &\leq w_{ji} < 1 + \sigma3_{ji} \\ qL1_i - \sigma4_{ji} &\leq w_{ji} \leq qR1_i + \sigma4_{ji} \\ qL2_i - \sigma5_{ji} &\leq w_{ji} \leq qR2_i + \sigma5_{ji} \\ \sigma1_{ji} + \sigma2_{ji} + \sigma3_{ji} + \sigma4_{ji} + \sigma5_{ji} &= 4 \end{aligned} \right\}, i=1, \dots, n; j=1, \dots, J \quad (13)$$

$\sigma1_{ji}, \sigma2_{ji}, \sigma3_{ji}, \sigma4_{ji}, \sigma5_{ji}$ 是 0~1 变量

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq \bar{w}_{ji} \leq 1 - \bar{r}_i + \bar{\sigma}1_{ji} \\ 1 - \bar{r}_i - \bar{\sigma}2_{ji} &< \bar{w}_{ji} \leq 1 - \bar{r}_i + \overline{EG}_i + \bar{\sigma}2_{ji} \\ 1 - \overline{ER}_i - \bar{\sigma}3_{ji} &\leq \bar{w}_{ji} < 1 + \bar{\sigma}3_{ji} \\ \overline{qL1_i} - \bar{\sigma}4_{ji} &\leq \bar{w}_{ji} \leq \overline{qR1_i} + \bar{\sigma}4_{ji} \\ \overline{qL2_i} - \bar{\sigma}5_{ji} &\leq \bar{w}_{ji} \leq \overline{qR2_i} + \bar{\sigma}5_{ji} \\ \bar{\sigma}1_{ji} + \bar{\sigma}2_{ji} + \bar{\sigma}3_{ji} + \bar{\sigma}4_{ji} + \bar{\sigma}5_{ji} &= 4 \end{aligned} \right\}, i=1, \dots, n; j=1, \dots, J \quad (14)$$

$\bar{\sigma}1_{ji}, \bar{\sigma}2_{ji}, \bar{\sigma}3_{ji}, \bar{\sigma}4_{ji}, \bar{\sigma}5_{ji}$ 是 0~1 变量

若发生交叉口停车等待, 公交车在绿灯启亮时离开; 若绿灯期间到达则没有等待时间:

$$\left. \begin{aligned} w_{ji} &\leq 4 - y_{ji} - \sigma3_{ji} - \sigma4_{ji} - \sigma5_{ji} \\ \bar{w}_{ji} &\leq 4 - \bar{y}_{ji} - \bar{\sigma}3_{ji} - \bar{\sigma}4_{ji} - \bar{\sigma}5_{ji} \end{aligned} \right\}, i=1, \dots, n-1; j=1, \dots, J \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} (1 - \sigma1_{ji}) + w_{ji} - x_{ji} &> (1 - r_i)(3 - \sigma3_{ji} - \sigma4_{ji} - \sigma5_{ji}) \\ (1 - \bar{\sigma}1_{ji}) + \bar{w}_{ji} - \bar{x}_{ji} &> (1 - \bar{r}_i)(3 - \bar{\sigma}3_{ji} - \bar{\sigma}4_{ji} - \bar{\sigma}5_{ji}) \end{aligned} \right\}, i=1, \dots, n-2; j=1, \dots, J \quad (16)$$

若公交车利用插入相位通行, 则保证插入相位绿灯一启亮就离开:

$$\left. \begin{aligned} w_{ji} &\leq 1 - y_{ji} + qL1_i + \sigma4_{ji} \\ \bar{w}_{ji} &\leq 1 - \bar{y}_{ji} + \overline{qL1_i} + \bar{\sigma}4_{ji} \end{aligned} \right\}, i=1, \dots, n-1; j=1, \dots, J \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} w_{ji} &\leq 1 - y_{ji} + qL2_i + \sigma5_{ji} \\ \bar{w}_{ji} &\leq 1 - \bar{y}_{ji} + \overline{qL2_i} + \bar{\sigma}5_{ji} \end{aligned} \right\}, i=1, \dots, n-2; j=1, \dots, J \quad (18)$$

3.4 公交车辆和社会车辆相互约束

社会车辆绿波带和公交车辆轨迹线应满足同样的相位差 O_i , 此外, 周期长度满足一定的限值。

$$O_i = w_{ji} + t_{ji} - w_{ji+1} + x_{ji+1} + m2_{ji}; i=1, \dots, n-1; j=1, \dots, J \quad (19)$$

$$O_i = w_i + t_i - w_{i+1}; i=1, \dots, n-1 \quad (20)$$

$$1/C_2 \leq z \leq 1/C_1 \quad (21)$$

4 案例分析

为验证上述公交信号优先协调控制模型的有效性，以上海市延安路的常德路至茂名北路路段，共 5 个协调控制的交叉口群作为控制对象进行实证研究，如图 2 所示。该路段设路中式公交专用道，中运量公交 71 路车经过，铜仁路—威海路路段双向均有公交站点。

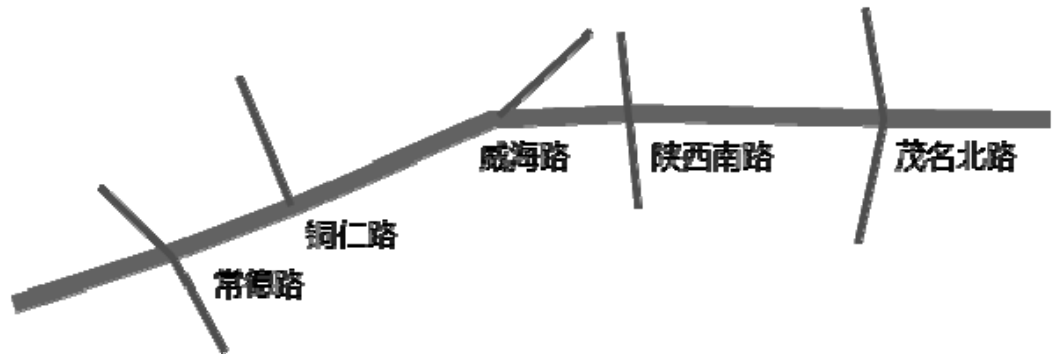


图 2 案例路段地图

4.1 数据输入

案例路段的信号协调控制周期为 150s，社会车辆行驶速度 45km/h，公交车行驶速度 40km/h，站点驻站时间取 40s，相关数据输入如表 1 所示，5 个交叉口均可以提供 10s 的绿灯延长和红灯早断时间，陕西北路路口提供 2 个可供插入的相位位置，其余交叉口均只提供一个相位插入位置。用每个方向各 10 辆车来模拟公交车辆到达第一个交叉口的分布，即 $J=10$ ，这里数据输入为均匀分布，即这 10 辆车的权重相同。

表 1 控制子区案例数据输入

标号	路 段	交叉口间 距 (m)	红灯时间比 例 (cycles)	红灯时间 比例	绿灯延长 时间 (s)	红灯早断 时间 (s)	插入相位 1 的位置 (cycles)		插入相位 2 的位置 (cycles)	
S1	常德路 (富民路)	218	0.55	0.55	10	10	0.62	0.70	—	—
S2	铜仁路	304	0.47	0.47	10	10	0.77	0.85	—	—
S3	威海路	231	0.28	0.28	10	10	1.00	0.00	—	—
S4	陕西北路 (陕西南路)	389	0.59	0.59	10	10	0.59	0.67	0.75	0.83
S5	茂名北路 (茂名南路)		0.52	0.52	10	10	0.70	0.78	—	—

4.2 模型求解结果

利用 CPLEX 软件求解，得到上述公交信号优先协调控制模型的结果如图 3 所示，社会车流的绿波带带宽为 0.24 个周期长度，为双向求解的最大带宽；在保证最大带宽的前提下，调整相位差和主动优先策略的适用情况，得到公交车加权延误和停车最小的信控方案，此时平均延误为 16.83s，平均停车次数为 0.6 次；在保证了加权延误和停车最小的前提下，此时主动优先策略的实施次数也是最少的，平均每辆车采取绿灯延长策略 0.3 次，红灯早断策略 0.8 次，相位插入策略 0.5 次。

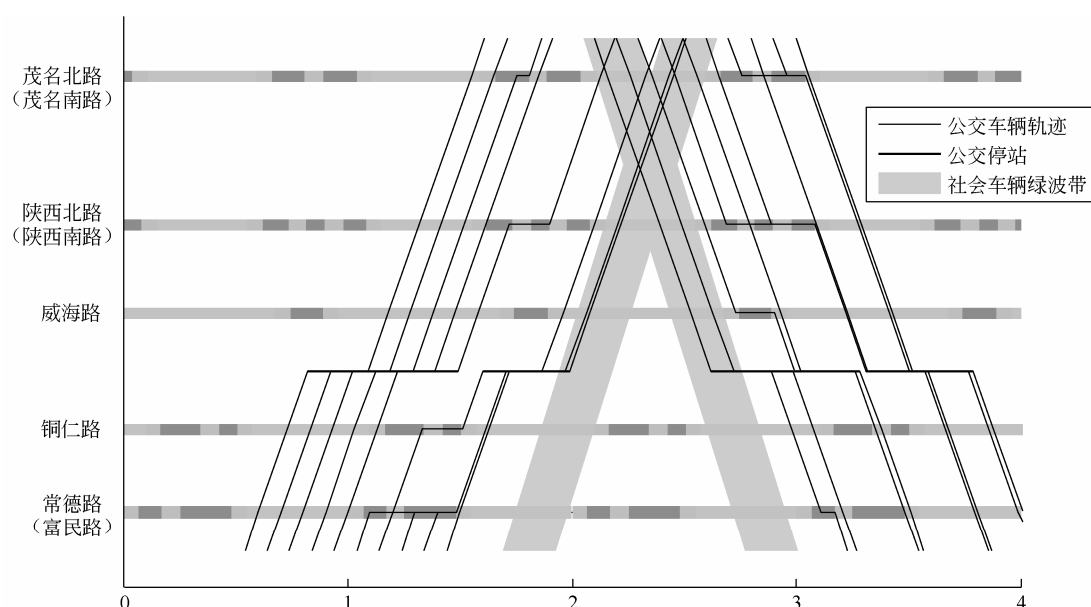


图3 公交信号优先协调控制模型结果时空图

4.3 效果评价

为了评价上述公交信号优先协调控制方法的效果，将其与如下两种控制方案进行对比分析。

- 方案 A，社会车辆绿波带最宽，公交车辆在到达交叉口时只要能提供主动优先策略，就采用主动优先策略让公交车辆尽早离开交叉口，而不考虑交叉口之间主动优先策略的协调；
- 方案 B，在保证社会车辆绿波带最宽，公交车辆的延误和停车不超过方案 A 的前提下，在整个干线范围内协调每个交叉口主动优先策略。

方案 A、方案 B 的控制结果时空图如图 4 和图 5 所示，这三种方案都给了社会车辆相同的最大绿波带宽，这里主要分析公交车的控制效果和主动优先策略使用频率。将这三种控制方法的延误、停车、主动优先策略应用情况汇总在表 2，方案 B 相比于方案 A 车均停车次数和车均延误都没有提高，而主动优先策略的使用频率明显降低，这一结果表明，通过协调各个交叉口主动优先策略的使用情况，在不影响公交车优先权的情况下，能显著降低主动优先策略被触发的次数，从而减少了不必要的时空资源的浪费。此外，在不减小社会车流的绿波带带宽的前提下，相位差的调整也能有效减少车均停车次数和延误。因此，公交信号优先协调控制方法，能在保证主要流向社会车辆的协调控制效果的前提下，减低公交车辆的平均延误和停车次数，并更少地出发主动优先策略，避免了不必要的时空资源浪费，从而减少了对次要流向社会车辆的负面影响。

表 2 各种控制策略的结果对比

	车均停车次数	车均延误 (s)	绿灯延长次数	红灯早断次数	相位插入次数
方案 A	1.15	13.56	0.45	1.20	0.75
方案 B	1.10	13.46	0.30	0.35	0.75
本模型	0.60	16.83	0.30	0.80	0.50

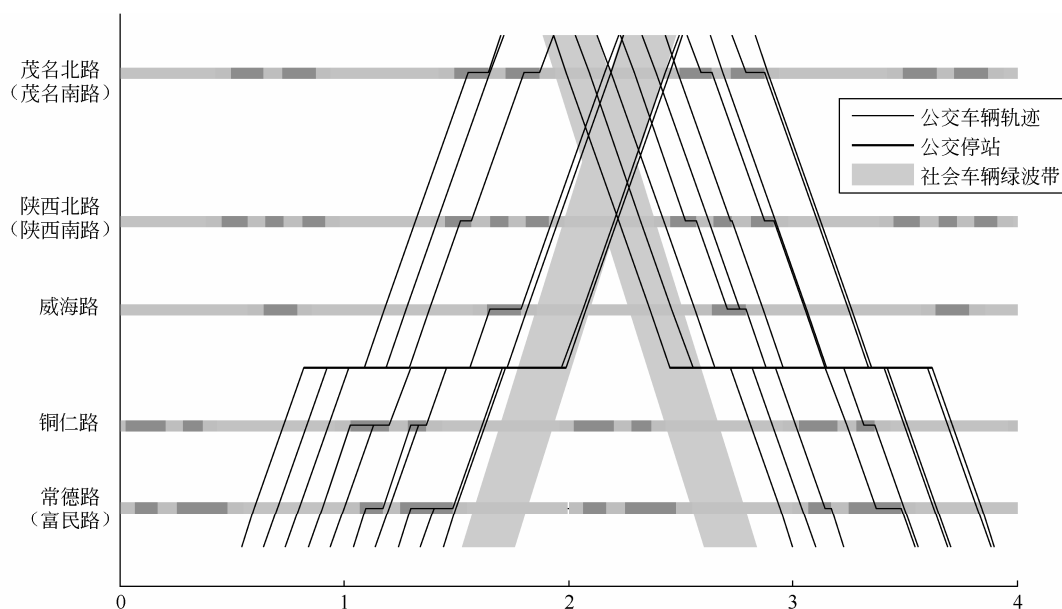


图4 方案A控制结果时空图

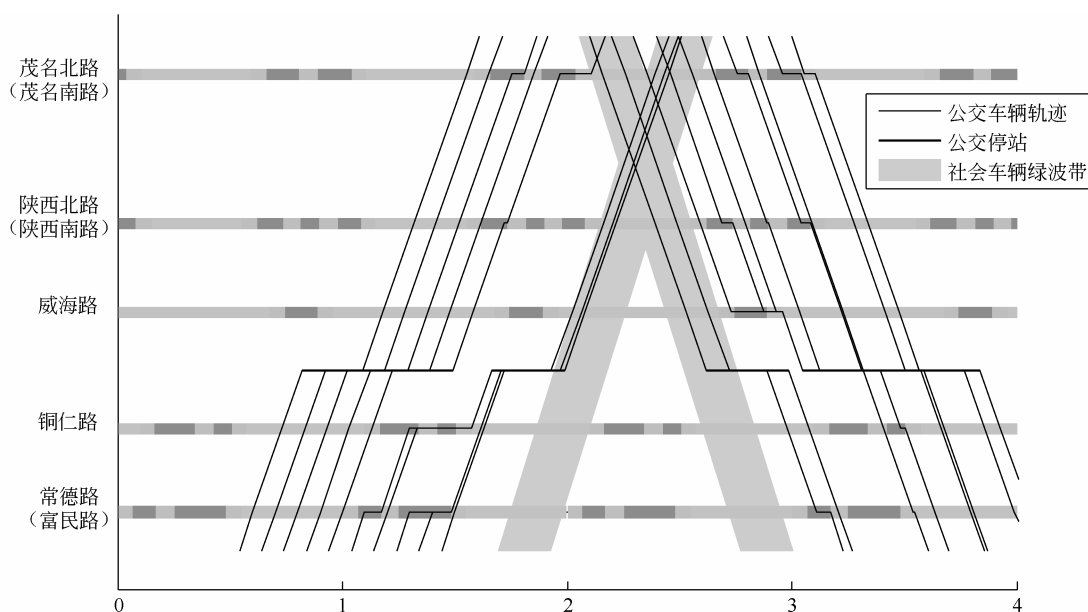


图5 方案B控制结果时空图

5 结论

针对单个交叉口公交信号优先可能失效的问题,以干线交叉口群为控制对象,建立了专用道公交信号优先协调控制模型,在保证其他社会车辆的协调控制效果不受影响的前提下,协调干线各个交叉路口的公交主动优先策略触发与否,避免通行时空资源的浪费,提高公交车辆在整个交叉口群的运行效率。案例结果表明,在几乎不改变公交车均延误和停车的情况下,主动优先被触发的次数降低 42%;在延误最小停车最少的情况下,主动优先被触发的次数也降低了 33%。本研究的专用道公交信号优先协调控制方法是建立在公交车辆行驶速度和停站时间都非常稳定的前提下,如何考虑公交车辆运行过

程中行程时间的随机波动性,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Baker RJ, Collura J, Dale JJ, et al. AN OVERVIEW OF TRANSIT SIGNAL PRIORITY [J]. Computers, 2002.
- [2] 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, 08 (6): 70-78.
- [3] Gartner NH, Assman SF, Lasaga F, et al. A multi-band approach to arterial traffic signal optimization[J]. Transportation Research Part B Methodological, 1991, 25(1): 55-74.
- [4] Jeong Y, Kim Y. Tram passive signal priority strategy based on the MAXBAND model[J]. Ksce Journal of Civil Engineering, 2014, 18(5): 1518-1527.
- [5] Little, John DC, Kelson, et al. MAXBAND :a versatile program for setting signals on arteries and triangular networks[J]. Working Papers, 1981.
- [6] Morgan JT, Little JDC. Synchronizing Traffic Signals for Maximal Bandwidth[J]. Operations Research, 1964, 12(6): 896-912.
- [7] Zhang C, Xie Y, Gartner NH, et al. AM-Band: An Asymmetrical Multi-Band model for arterial traffic signal coordination[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2015, 58: 515-531.
- [8] Hunt PB, Robertson DI, Bretherton RD. The SCOOT on-line traffic signal optimisation technique (Glasgow)[J]. Traffic Engineering & Control, 1982, 23(4): 190-200.
- [9] Husch BD, Albeck J. Synchro 4.0 User Guide[J]. Journal of Hospice & Palliative Nursing, 2010, 4(4): 206-207.
- [10] Lieberman, Lai J, Ellington RE. SIGOP-III. USER'S MANUAL[J]. Manuals, 1983.
- [11] Mauro V, Taranto CD. UTOPIA[J]. Control Computers Communications in Transportation, 1990, 20(4): 245-252.
- [12] Wallace CE, Courage KG, Reaves DP, et al. TRANSYT-7F USER'S MANUAL[J]. Fuel Consumption, 1984.
- [13] Ma W, Head KL, Feng Y. Integrated optimization of transit priority operation at isolated intersections: A person-capacity - based approach[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2014, 40(1): 49-62.
- [14] Vincent RA, Cooper BR, Wood K. Bus-Actuated Signal Control At Isolated Intersections--Simulation Studies Of Bus Priority[J]. 1978.
- [15] 马万经, 吴志周, 杨晓光. 基于交叉口群公交优先协调控制方法研究 [J]. 土木工程学报, 2009 (2): 105-111.