



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111932915 A

(43) 申请公布日 2020. 11. 13

(21) 申请号 202010493319.8

(22) 申请日 2020.06.03

(71) 申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72) 发明人 夏井新 邢韵 饶文明 安成川 王晨

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司 32206

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G08G 1/087 (2006.01)

G08G 1/08 (2006.01)

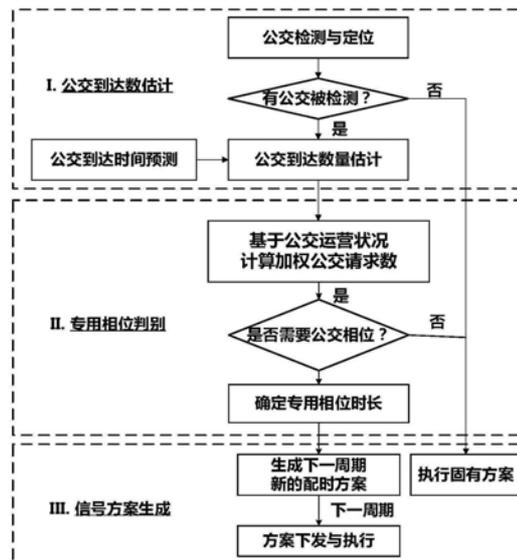
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于到达时间步进式预测的公交右转弯合乘信号优先方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于到达时间步进式预测的公交右转弯合乘信号优先方法,包括以下步骤: S1、公交到达数估计步骤,基于卡尔曼滤波模型步进式预测公交到达交叉口停车线的时间,并估计特定时间内到达交叉口的公交车辆数; S2、专用相位判定步骤,基于公交车辆到达估计结果判别公交相位是否需要并确定公交相位的长度; S3、信号方案生成步骤,当下一个周期被判别为需要公交相位插入时,一个专用公交相位被插入到原有信号方案之前,生成新的方案。随后,新生成的方案被下发至信号控制器执行。本发明的方法适用于信号控制中心下发指令而不依赖于前端,避免了因信号控制器API接口不同而造成的兼容性问题,实用性更强。



1. 一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1、公交到达数估计: 基于卡尔曼滤波模型步进式预测公交到达交叉口停车线的时间, 并估计特定时间内到达交叉口的公交车辆数;

S2、专用相位判定: 基于公交车辆到达估计结果判别公交相位是否需要并确定公交相位的长度;

S3、信号方案生成: 当下一个周期被判别为需要公交相位插入时, 一个专用公交相位被插入到原有信号方案之前, 生成新的方案, 随后, 新生成的方案被下发至信号控制器执行。

2. 根据权利要求1所述的一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法, 其特征在于, 所述步骤S1包括:

S11、计算公交到达数量估计的时间间隔:

$$\Omega = [t_0 - R, t_0] \cup [t_0 + G, t_0 + G + t_B]$$

式中, Ω 表示公交到达数量估计的时间间隔, t_0 为当前信号周期结束时刻, R 、 G 分别为原信号配时方案的红灯和绿灯相位时长, t_B 为公交专用相位时长;

公交到达时间的计算公式为:

$$t_{\text{arrival}} = t_{\text{detect}} + \tau = t_{\text{detect}} + L/v_0$$

对于在时间区间 $[t_0 - R, t_0]$ 内到达的车辆, 公交在当前信号周期的红灯相位到达, 可被RFID车辆检测器直接检测, 上式中, t_{detect} 表示公交被检测到的时间, τ 和 L 分别为公交从被检测位置到停车线的时间和距离, v_0 是公交接近交叉口时的平均行驶速度;

对于在区间 $[t_0 + G, t_0 + G + t_B]$ 内到达的车辆, 通过步骤S12构建的公交到达时间步进式预测模型进行估计;

S12、对于每趟次公交线路, 均构建一个卡尔曼滤波模型预测其到达所有下游交叉口进口道停车线的到达时间, 假设公交线路上有 M 个信号交叉口, I_k 表示第 k 个交叉口, $k \in [1, M]$, 以公交线路的起点为 I_1 , s_k 表示从起点到当前交叉口 I_k 的行程时间, $T_{k,k+1}$ 为从当前交叉口到达下一交叉口的行程时间, 此时, 从公交线路起点到达下一交叉口 I_{k+1} 的行程时间可以表示为:

$$s_{k+1} = s_k + T_{k,k+1}$$

设 $t_{k,j}$ 表示从交叉口 I_k 到达给定的下游交叉口 I_j ($j \in [k+1, M]$) 的行程时间, 则从交叉口 I_{k+1} 到 I_j 的行程时间为:

$$t_{k+1,j} = t_{k,j} - T_{k,k+1}$$

若公交在红灯相位时到达路口, 则交叉口延误是该路段行程时间的重要部分, 设公交到达时刻交叉口 I_k 的延误为 D_k , 则 $T_{k,k+1}$ 可以表示为 $T_{k,k+1} = D_k + T'_{k,k+1}$ 式中, $T'_{k,k+1}$ 表示从交叉口 I_k 的出口到交叉口 I_k 进口到的行程时间, 即两相邻路口间的纯路段行程时间;

对于下游交叉口 I_j , $x_{k,j} = (t_{k,j}, s_k)^T$ 为状态变量, 基于卡尔曼滤波的到达时间步进式预测模型的状态转移方程如下:

$$x_{k+1,j} = \Phi_k x_{k,j} + u_k + w_{k,j}$$

若从起点交叉口到交叉口 I_k 的行程时间的观测值为 z_k , 理论上, $z_k = s_k$, 基于卡尔曼滤波的到达时间步进式预测模型的观测方程建立如下

$$z_k = H_k x_{k,j} + v_{k,j}$$

以上两式联合组成了构建的卡尔曼滤波模型,其中 $\Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $H_k = [0, 1]$,

$u_k = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix} (D_k + T'_{k,k+1}) \circ w_{k,j}$, $v_{k,j}$ 分别为与状态转移和测量方程对应的白噪声,它们的平均值为零,方差分别为 $Q_{k,j}$, $R_{k,j}$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法,其特征在于,所述步骤S2进行公交专用相位判定,具体步骤为:设公交优先请求的权重值为WPR,表示到达交叉口的公交车辆的个数及其运行状况,优先请求权重 $WPR = \sum_{i=1}^N r_i$,其中N表示预测的公交到达数量, $r_i \in [0, 1]$ 为第i辆公交的权重,优先请求阈值 δ 用来判断下一周期是否执行公交专用相位,则公交相位的判定有以下两种情况:

(1) 当 $WPR \geq \delta$ 时,下一周期执行公交专用相位,对于在当前周期红灯时段到达的公交,下一周期的公交相位将会给予其优先通行权,使得这类公交比其他普通车辆优先通过交叉口;对于将在下一周期 $[t_0+G, t_0+G+t_B]$ 时段内到达的公交,由于下一周期执行公交相位的影响,该类公交也将在绿灯结束前通过交叉口,同样可避免红灯时段的排队,获得优先通行权;

(2) 当 $WPR < \delta$ 时,无公交相位请求,下一周期将执行原信号配时方案;

公交专用相位时长 t_B 需满足两个约束条件:① $t_B \geq G^{\min}$,其中 G^{\min} 表示最小绿灯时长;② $C + t_B \leq t^{\max Cyc}$, $t^{\max Cyc}$ 为信号周期的最大允许时长,C为原信号配时方案的周期时长。

4. 根据权利要求1所述的基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法,其特征在于,所述步骤S3中,当公交相位需要被执行时,当前信号周期结束之前将生成下一周期新的配时方案,新的配时方案将发送到信号控制器并实现下一周期配时方案的调整。

5. 根据权利要求2所述的一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法,其特征在于,步骤S1中所用到的公交运行数据包括车辆检测器RFID和GPS设备采集的设备ID、日期、时间、公交车号牌、公交平均延误、平均速度以及公交位置信息。

6. 根据权利要求2所述的一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法,其特征在于,步骤S1中构建的基于卡尔曼滤波的到达时间步进式预测模型,采用时间更新递归方法求解。具体的求解步骤如下:

步骤一:参数初始化,设置 $k=1, j=2, s_1=0$;

步骤二:设置 $\hat{x}_{k,j} = (\hat{t}_{k,j}, \hat{s}_k)^T$,初始化协方差矩阵 $P_{k,j}, Q_{k,j}, R_{k,j}$;

步骤三:状态向量的先验估计, $\hat{x}_{k+1|k,j} = \Phi_k \hat{x}_{k,j} + u_k$;

步骤四:状态误差协方差后验估计, $P_{k+1|k,j} = \Phi_k P_{k,j} \Phi_k^T + Q_{k,j}$;

步骤五:计算量测噪声, $v_{k+1,j} = z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1|k,j}$;

步骤六:计算卡尔曼滤波增益,

$$K_{k+1,j} = P_{k+1|k,j} H_{k+1}^T (H_{k+1} P_{k+1|k,j} H_{k+1}^T + R_{k+1,j})^{-1};$$

步骤七:状态向量后验估计, $\hat{x}_{k+1,j} = \hat{x}_{k+1|k,j} + K_{k+1,j} v_{k+1,j}$;

步骤八:状态误差协方差后验估计, $P_{k+1, j} = (I - K_{k+1, j} H_{k+1}) P_{k+1|k, j}$; 如果 $j < M$, 执行步骤九; 否则 $j = M$, 执行步骤十;

步骤九:令 $j = j + 1$, 执行步骤二;

步骤十:令 $k = k + 1$, $j = k + 1$; 如果 $k + 1 = M$, 即 I_{k+1} 是公交线路上的最后一个交叉口, 算法停止; 否则, 跳到步骤二。

一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法

技术领域

[0001] 本发明涉及交通信息技术与交通安全技术领域,特别涉及一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法。

背景技术

[0002] 针对当前城市交通机动化快速发展、交通拥堵严重、环境污染日益严重的状况,倡导公交优先,提高城市公交系统的运行效率,充分发挥公交系统的服务效能势在必行。国内外学者对公交信号优先通行方法进行广泛而深入的研究,目前形成了三种公交信号优先控制策略:被动式公交信号优先、主动式公交信号优先和自适应公交信号优先。被动式公交信号优先最早于1979年被提出,该策略是在信号控制方案中插入固定时长的公交专用相位,设置固定的信号配时方案。主动优先控制是在车辆检测器检测到公交车辆到达时给予公交信号优先,同时考虑执行信号优先控制策略后对公交运行效益的影响。自适应优先控制以Yagar等人和Chang等人的研究为标志性开端。Chang等人基于自动车辆定位系统,建立了一个将公交信号优先与自适应信号控制相结合控制方法,并利用元胞自动机模型对交叉口排队长度、信号运行状态、饱和流量和车辆行程时间等参数进行预测,实现公交信号的自适应控制。

[0003] 此外,在无公交专用道的情况下,由于公交与普通车辆形成混合车流,公交车辆的运行受到很多限制,其运行规律难以掌握,系统和环境的复杂性较大,公交信号优先难以得到理想的实施效果。

[0004] 现有的公交信号优先控制策略已初具规模,并能够在一定程度上给予公交优先通行权、提升公交服务水平,但仍存在一些有待改进之处:1、许多公交信号优先控制策略受道路基础设施现状的制约,难以开辟新的公交专用车道,道路改造与重新渠化的成本过高;2、大多数公交信号优先控制策略需要在当前信号周期中修改正在执行的配时方案,这种修改由于涉及到信号控制器内部专用API接口,必须由相应的交管部门而非信号机制造商实现,实际应用难度较大;3、多源数据、传感器技术的发展为公交信号优先控制技术提供了良好的发展契机,公交到达时间预测的准确性和可靠性仍有很大的提升空间。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了解决上述问题,提供一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用的方法是:一种基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法,包括公交到达数估计步骤、专用相位判定步骤、信号方案生成步骤:

[0007] S1、公交到达数估计步骤,基于卡尔曼滤波模型步进式预测公交到达交叉口停车线的时间,并估计特定时间内到达交叉口的公交车辆数;

[0008] S2、专用相位判定步骤,基于公交车辆到达估计结果判别公交相位是否需要并确定公交相位的长度;

[0009] S3、信号方案生成步骤,当下一个周期被判别为需要公交相位插入时,一个专用公交相位被插入到原有信号方案之前,生成新的方案。随后,新生成的方案被下发至信号控制器执行。

[0010] 作为本发明的一种优选,所述步骤S1包括:

[0011] S11、公交到达数量估计的时间间隔为:

$$[0012] \quad \Omega = [t_0 - R, t_0] \cup [t_0 + G, t_0 + G + t_B]$$

[0013] 假设当前周期无公交相位,下一周期有公交专用相位,在上式中, Ω 表示公交到达数量估计的时间间隔, t_0 为当前信号周期结束时刻, R 、 G 分别为原信号配时方案的红灯和绿灯相位时长, t_B 为公交专用相位时长。控制逻辑的先决条件是原信号周期中的红灯相位必须在绿灯相位之后出现,公交到达数量估计必须在当前信号周期结束时刻(t_0)前完成。

[0014] 公交到达时间的计算公式为:

$$[0015] \quad t_{\text{arrival}} = t_{\text{detect}} + \tau = t_{\text{detect}} + L/v_0$$

[0016] 对于在时间区间 $[t_0 - R, t_0]$ 内到达的车辆,公交在当前信号周期的红灯相位到达,可被RFID车辆检测器直接检测。上式中, t_{detect} 表示公交被检测到的时间, τ 和 L 分别为公交从被检测位置到停车线的时间和距离, v_0 是公交接近交叉口的平均行驶速度。

[0017] 对于在区间 $[t_0 + G, t_0 + G + t_B]$ 内到达的车辆,若下一周期无公交专用相位,则公交车到达的时刻为红灯开始时段。相对的,如果下一周期有公交相位,则该公交将在绿灯时段到达,因此它们将能顺利通过交叉口。该区间到达的车辆数通过以下步骤S12构建的公交到达时间步进式预测模型进行估计。

[0018] S12、对于每趟次公交线路,均构建一个卡尔曼滤波模型预测其到达所有下游交叉口进口道停车线的到达时间。假设公交线路上有 M 个信号交叉口, I_k 表示第 k 个交叉口, $k \in [1, M]$,以公交线路的起点为 I_1 , s_k 表示从起点到当前交叉口 I_k 的行程时间, $T_{k,k+1}$ 为从当前交叉口到达下一交叉口的行程时间。此时,从公交线路起点到达下一交叉口 I_{k+1} 的行程时间可以表示为:

$$[0019] \quad s_{k+1} = s_k + T_{k,k+1}$$

[0020] 设 $t_{k,j}$ 表示从交叉口 I_k 到达给定的下游交叉口 I_j ($j \in [k+1, M]$)的行程时间,则从交叉口 I_{k+1} 到 I_j 的行程时间为:

$$[0021] \quad t_{k+1,j} = t_{k,j} - T_{k,k+1}$$

[0022] 若公交在红灯相位时到达路口,则交叉口延误是该路段行程时间的重要部分。设公交到达时刻交叉口 I_k 的延误为 D_k ,则 $T_{k,k+1}$ 可以表示为

$$[0023] \quad T_{k,k+1} = D_k + T'_{k,k+1}$$

[0024] 式中, $T'_{k,k+1}$ 表示从交叉口 I_k 的出口到交叉口 I_k 进口到的行程时间,即两相邻路口间的纯路段行程时间,它的大小取决于交通流运行状态和路段长度,可以通过历史平均值获取。同时, D_k 可以通过比照公交到达时刻的公交信号运行状态估计得到。

[0025] 对于下游交叉口 I_j , $x_{k,j} = (t_{k,j}, s_k)^T$ 为状态变量,基于卡尔曼滤波的到达时间步进式预测模型的状态转移方程如下:

$$[0026] \quad x_{k+1,j} = \mathbf{0}_k x_{k,j} + u_k + w_{k,j}$$

[0027] 若从起点交叉口到交叉口 I_k 的行程时间的观测值为 z_k ,理论上, $z_k = s_k$,基于卡尔曼滤波的到达时间步进式预测模型的观测方程建立如下

[0028] $z_k = H_k x_{k,j} + v_{k,j}$

[0029] 以上两式联合组成了构建的卡尔曼滤波模型,其中 $\Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $H_k = [0, 1]$,

$u_k = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix} (D_k + T'_{k,k+1}) \circ w_{k,j}$, $v_{k,j}$ 分别为与状态转移和测量方程对应的白噪声,它们的平均值为零,方差分别为 $Q_{k,j}$, $R_{k,j}$ 。

[0030] 作为本发明的一种优选,所述步骤S2进行公交专用相位判定具体为:设公交优先请求的权重值为WPR,表示到达交叉口的公交车辆的个数及其运行状况(准时程度、载客量等)。优先请求权重 $WPR = \sum_{i=1}^N r_i$,其中N表示预测的公交到达数量, $r_i \in [0, 1]$ 为第i辆公交的权重。优先请求阈值 δ 用来判断下一周期是否执行公交专用相位,则公交相位的判定有以下两种情况:

[0031] (1) 当 $WPR \geq \delta$ 时,下一周期执行公交专用相位。对于在当前周期红灯时段到达的公交,下一周期的公交相位将会给予其优先通行权,使得这类公交比其他普通车辆优先通过交叉口;对于将在下一周期 $[t_0+G, t_0+G+t_B]$ 时段内到达的公交,由于下一周期执行公交相位的影响,该类公交也将在绿灯结束前通过交叉口,同样可避免红灯时段的排队,获得优先通行权。

[0032] (2) 当 $WPR < \delta$ 时,无公交相位请求,下一周期将执行原信号配时方案。

[0033] 公交专用相位时长 t_B 需满足两个约束条件:① $t_B \geq G^{\min}$,其中 G^{\min} 表示最小绿灯时长;② $C+t_B \leq t^{\max Cyc}$, $t^{\max Cyc}$ 为信号周期的最大允许时长,C为原信号配时方案的周期时长。同时为保证信号配时的稳定性, t_B 通常根据公交优先请求标准从一系列预先给定的离散值(如11、13秒)中选择。

[0034] 为确保公交相位的利用效率,本发明在交叉路口的对向车道分别设置公交优先信号和右转合乘车道,此时公交数量为两个方向到达交叉口的车辆总和。当执行公交专用相位时,由于右转合乘交通组织策略,两个方向的公交都获得优先通行权。

[0035] 作为本发明的优选,所述步骤S3中生成信号配时方案。当公交相位需要被执行时,当前信号周期结束之前(t_0 时刻)将生成下一周期新的配时方案。新的配时方案将发送到信号控制器并实现下一周期配时方案的调整。

[0036] 作为本发明的优选,步骤S1中所用到的公交运行数据包括车辆检测器RFID和GPS设备采集的设备ID、日期、时间、公交车号牌、公交平均延误、平均速度以及公交位置信息。

[0037] 作为本发明的优选,步骤S1中构建的基于卡尔曼滤波的到达时间步进式预测模型,可以采用时间更新递归方法求解。具体的求解步骤如下:

[0038] 步骤一:参数初始化。设置 $k=1, j=2, s_1=0$ 。

[0039] 步骤二:设置 $\hat{x}_{k,j} = (\hat{t}_{k,j}, \hat{s}_k)^T$,初始化协方差矩阵 $P_{k,j}, Q_{k,j}, R_{k,j}$ 。

[0040] 步骤三:状态向量的先验估计。

[0041] $\hat{x}_{k+1|k,j} = \Phi_k \hat{x}_{k,j} + u_k$

[0042] 步骤四:状态误差协方差后验估计。

[0043] $P_{k+1|k,j} = \Phi_k P_{k,j} \Phi_k^T + Q_{k,j}$

[0044] 步骤五:计算量测噪声。

[0045]
$$v_{k+1,j} = z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1|k,j}$$

[0046] 步骤六:计算卡尔曼滤波增益。

[0047]
$$K_{k+1,j} = P_{k+1|k,j} H_{k+1}^T (H_{k+1} P_{k+1|k,j} H_{k+1}^T + R_{k+1,j})^{-1}$$

[0048] 步骤七:状态向量后验估计。

[0049]
$$\hat{x}_{k+1,j} = \hat{x}_{k+1|k,j} + K_{k+1,j} v_{k+1,j}$$

[0050] 步骤八:状态误差协方差后验估计。

[0051]
$$P_{k+1,j} = (I - K_{k+1,j} H_{k+1}) P_{k+1|k,j}$$

[0052] 如果 $j < M$, 执行步骤九; 否则 $j = M$, 执行步骤十。

[0053] 步骤九:令 $j = j + 1$, 执行步骤二。

[0054] 步骤十:令 $k = k + 1$, $j = k + 1$ 。

[0055] 如果 $k + 1 = M$ (即 I_{k+1} 是公交线路上的最后一个交叉口), 算法停止; 否则, 跳到步骤二。

[0056] 上述步骤中提到的卡尔曼滤波 (Kalman filtering): 卡尔曼滤波是一种利用线性系统状态方程, 通过系统输入输出观测数据, 对系统状态进行最优估计的算法。其核心思想是由观测值修正系统的状态变量, 以“预测——观测——修正”的顺序进行迭代, 不断消除系统随机噪声, 获得系统的真实状态。

[0057] 上述的基于到达时间步进式预测的公交右转合乘信号优先方法是基于以下的交通组织方法实现的。

[0058] (1) 车道配置。必须保证交叉口进口道存在一条专用右转车道, 它将被设置为合乘车道; 为了给道路使用者提供指引, 需在合乘车辆中间画上特殊的标记 (如黄色箭头); 合乘车道与相邻普通车道间的车道线应设计得比普通车道线更宽。

[0059] (2) 基本设施设置。在实施公交信号优先的路段安装必要的信号设备以及车辆检测器。为实现对公交车辆的优先控制, 在交叉口停车线前方或右转合乘车道的路旁安装公交专用信号灯。同时, 在停车线后方 20 米处的路旁安装 RFID 射频信号接收器, 并将 RFID 电子标签粘贴在每辆公交车的前挡风玻璃上, 实现公交车辆的到达检测。最后, 相应的 GPS 车辆定位系统用于获取公交车辆的运行轨迹和速度;

[0060] (3) 右转合乘交通组织方法。首先, 对于右转的普通车辆应采取始终允许通行的控制策略, 以确保右转车辆不会在右转车道上排队从而阻塞公交车。其次, 当直行方向的主信号灯为绿灯时, 允许直行车道上的公交直接通过交叉口, 而当主信号灯为红灯时, 建议直行公交越过同向车流的排队, 驶入右转车道等待。最后, 在下一周期公交专用信号相位 (执行公交专用相位) 或主信号灯绿灯相位 (不执行公交专用相位) 阶段, 允许直行公交从右转车道直接通过交叉口。

[0061] 公交信号优先方案生成逻辑流程图如图 1 所示。

[0062] 有益效果:

[0063] 1. 本发明提出基于右转合乘策略的交通组织方法, 能够在一定程度上解决无公交专用道条件下公交信号优先方法实施效果不佳的难题, 为在相对成熟的道路实行公交优先政策提供可能;

[0064] 2. 本发明构建基于到达时间步进式预测的公交信号优先方法, 该方法适用于信号

控制中心下发指令而不依赖于前端,避免了因信号控制器API接口不同而造成的兼容性问题,实用性更强;

[0065] 3.通过模型性能评估结果发现,该发明提出的方法准确度更高、可靠性更强,尤其在交通拥堵情况下的效果明显,与现有技术相比具有更大优势。

附图说明

[0066] 图1是本发明的公交信号优先方案生成逻辑流程图;

[0067] 图2是本发明的公交到达时间预测图;

[0068] 图3是本发明的公交到达时间预测误差图;

[0069] 图4是本发明的干线行程时间对比图。

具体实施方式

[0070] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将通过实施例,结合附图对本发明的方案作进一步地详细描述。

[0071] 实施例1:

[0072] 本实施例采用一条6.17km长的城市干线进行实验。实验干线上有连续的12个信号交叉口,公交信号优先策略同时在南北两个方向实施。在每个交叉口附近设置右转合乘车道,同时在路旁安装RFID车辆检测装置。

[0073] 公交到达时间预测:

[0074] 选取一特定公交运行轨迹分析到达时间预测过程。该公交从起始点交叉口 I_1 出发,最终到达终点交叉口 I_{12} ,将到达时间预测结果绘制在时空图中,如图2所示。其中红色曲线表示公交到达下游交叉口的实际观测时间,其他颜色的曲线表示公交到达某特定交叉口时对下游各交叉口到达时间的预测值。例如从 I_2 开始的浅蓝色曲线描述了公交在 I_1 时对下游各交叉口的预测轨迹。可以观察到,随着公交沿着通向 I_{12} 的路线行驶,预测轨迹越来越逼近实际观测曲线(红色曲线),其原因是公交每到达一个新的交叉口,都将对下游预测时间进行更新,使得模型在交叉口 I_k 预测的到达时间比在 I_{k+1} 预测的到达时间更为准确。对于确定的交叉口 I_k 而言,在其之前最后一个预测值(I_{k-1} 的预测值)显然是最准确的,因此可将该值视为公交从起始点到该交叉口的最优预测时间。所有的最优预测时间用一条虚线连接起来,即描述了该公交的到达时间轨迹,如图2所示,这条轨迹与实际观测曲线是十分接近的。

[0075] 预测模型的准确性通过均方根误差(RMSE)和平均百分比误差(MAPE)进行评估。这两种指标的计算公式为:

$$[0076] \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

$$[0077] \quad \text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{\hat{y}_i} \times 100\%$$

[0078] 其中, y_i 是样本 i 的实际行程时间, \hat{y}_i 是样本 i 的预测行程时间, n 为公交线路数量。实验路段的行程时间对应的这两种指标值如图3所示,并与传统不考虑交叉口延误的模型进行对比。从图中可以看出,本发明提出的模型计算的这两类指标均小于传统方法,说明本

方法优于传统方法。具体说来,该模型的RMSE值介于18-34秒之间。同时,大多数MAPE值均小于20%。RMSE的最大值(34秒)出现在路段8,但MAPE值仅为14.5%,这是因为该路段的行程时间较大,达到270秒。总之,本方法能够获得较为准确的估计结果,因而可以用于支持公交信号优先策略的应用。

[0079] 模型性能评估:

[0080] 本发明提出的公交信号优先策略在实验路段上进行测试,公交优先请求阈值 δ 设定为2,公交专用相位时长设置为11秒,所有优先请求的权重值 r_i 设置为1。表1显示了高峰时段的性能评估结果。

[0081] 表1早高峰性能评估结果

交叉口ID	公交相位执行数量	北进口				南进口			
		优先请求数量	公交延误(s)	普通车辆延误(s)	延误时间差*(s)	优先请求数量	公交延误(s)	普通车辆延误(s)	延误时间差(s)
I1	31	84	22.4	51.6	29.2	46	26.7	60.4	33.7
I2	28	35	24.0	56.0	32.0	74	31.2	69.7	38.5
I3	33	29	13.4	39.6	26.2	82	19.8	52.7	32.9
I4	29	40	16.3	43.5	27.1	71	27.3	69.9	42.6
I5	26	69	30.2	67.8	37.6	30	26.8	63.6	36.8
I6	17	21	22.1	39.4	17.3	18	21.2	37.7	16.5
I7	23	32	37.0	73.4	36.4	49	32.8	62.6	29.8
I8	19	38	39.8	72.0	32.2	34	31.9	56.3	24.4
I9	18	27	38.8	68.9	30.1	24	40.0	71.0	30.9
I10	15	33	37.1	57.2	20.1	18	27.9	47.0	19.1
I11	13	15	28.4	45.2	16.8	23	21.5	39.3	17.8
I12	14	22	36.5	57.2	20.7	16	28.3	50.6	22.3

[0083] *延误时间差指普通车辆与公交延误时间差值。

[0084] 从上表可以看出,公交车辆在交叉口的延误明显低于普通车辆的延误。其中“公交相位执行数量”在交叉口I₁为31,而在交叉口I₁₁为13,表明公交优先请求在测试干线上呈现出非均匀、异质性的特点。在所有交叉口,南北双向的公交延误均小于相应的普通车辆,说明公交信号优先控制的实施为公交车辆提高了相对的优先通行效率,相对于普通车辆,公交可以更加快速的通过交叉口。同时,公交与普通车辆延误的差值在16.5到42.6秒的范围内波动,最大差值出现在交通流量最大的I₄交叉口的南进口,该现象进一步说明,本发明提出的方法能够在拥堵状况下效果更加明显。大多数社会车辆延误大于55秒(处于E级服务水平),说明这些交叉口处于不稳定流状态。然而,大多数公交延误均小于35秒(C级服务水平)。因此,提出方法能够有效提升公交车辆通行效率,同时最大限度降低对社会车辆运行的影响,高峰时段公交车交叉口停车延误减少40-60%。

[0085] 公交与普通车辆全天(6:30-22:00)的干线行程时间如图4所示,其中,公交参考时间指的是剔除了公交驻站延误的总行程时间(11个停靠站,每个停靠站时间为30-40秒)。可以看出,公交和普通车辆的行程时间分布曲线都是双峰的,具有明显的早晚高峰,但公交行程时间的变化范围小于普通车辆,说明公交优先的应用降低了公交行程时间的波动性,早晚高峰的拥挤交通状况对公交运行的影响减小了。另外,高峰时段公交比普通车辆花费较短时间通过该路段,但在其它时段公交需要更长时间。原因主要有:首先,合乘车道和专用相位均可以降低公交车在交叉口的排队等待时间,且在高峰时段更加显著。其次,公交驻站延误在行程时间中占有较大比例,从参考时间可以看出,剔除驻站延误后公交行程时间在

全天均小于普通车辆行程时间。

[0086] 本文中所描述的具体实施例仅是对本发明精神作举例说明,但本领域的普通技术人员应该明白,可以在形式上和细节上对其作各种改变,而不偏离本发明的精神和范围。

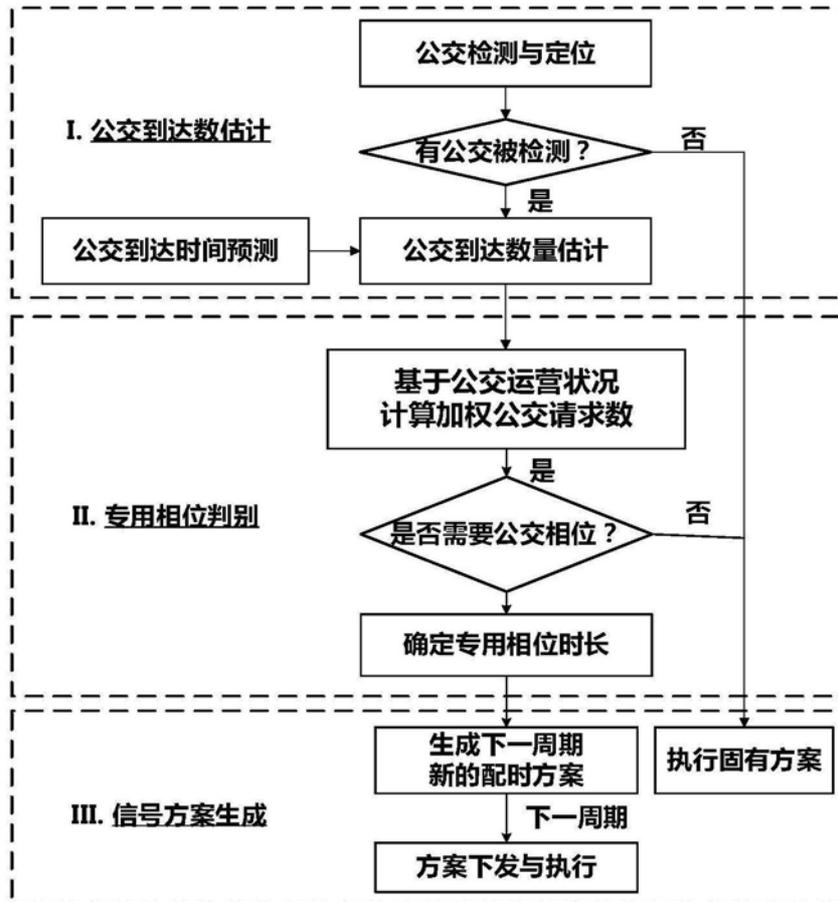


图1

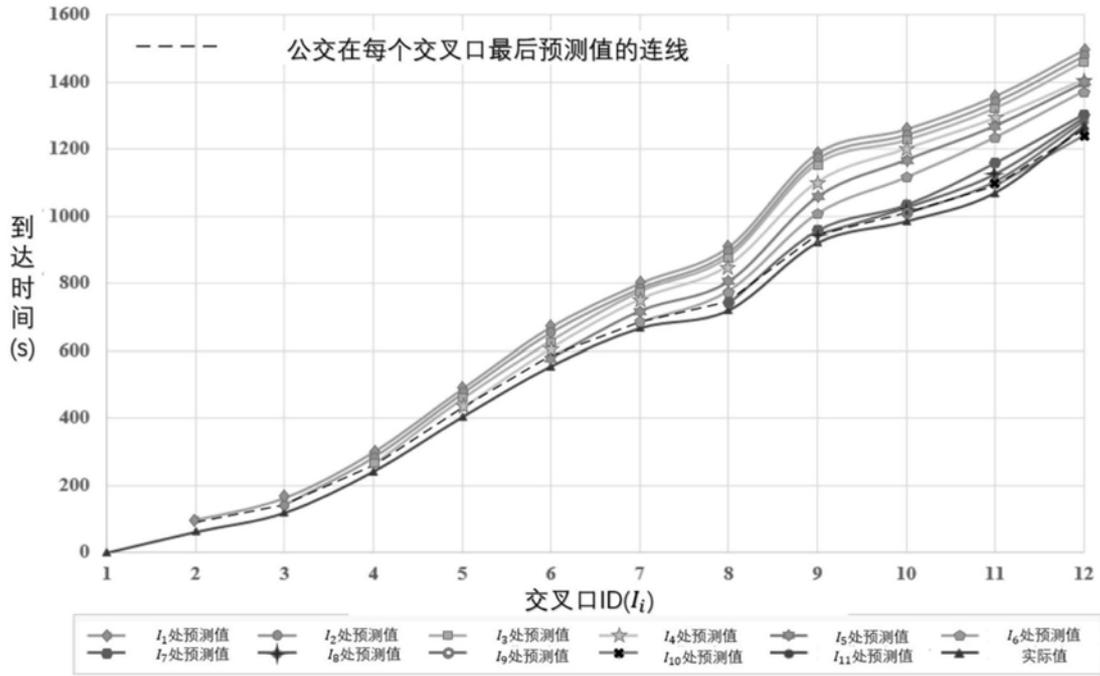
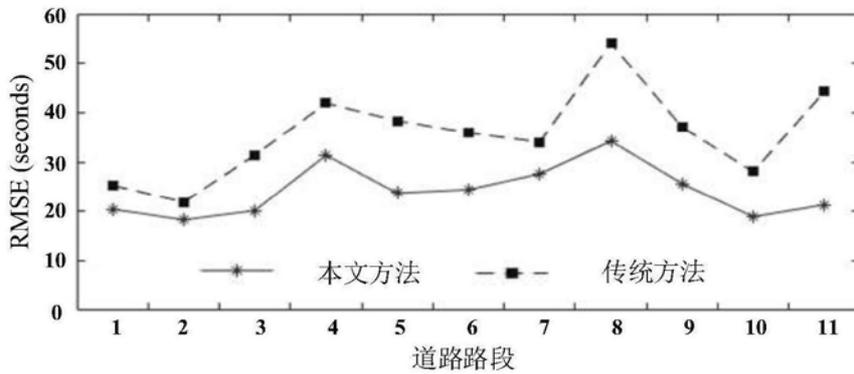
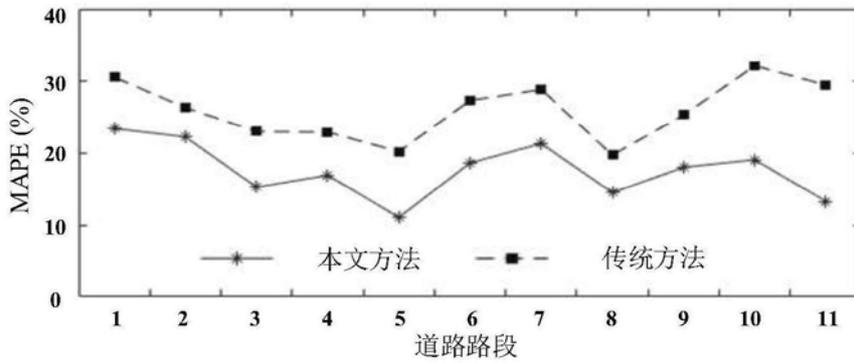


图2

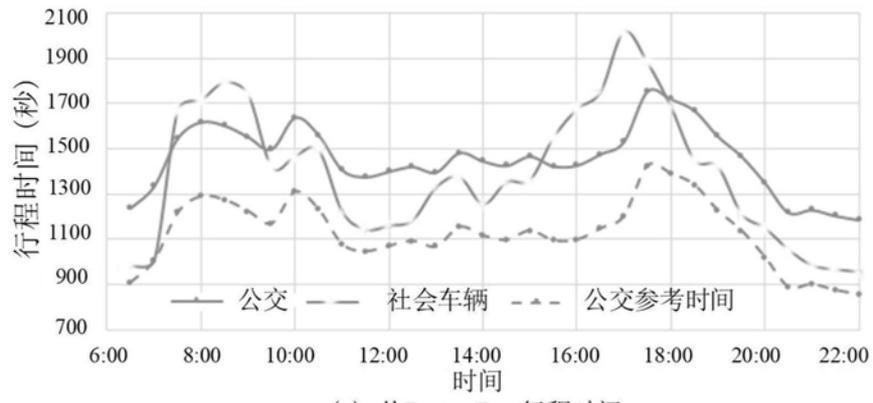


(a)

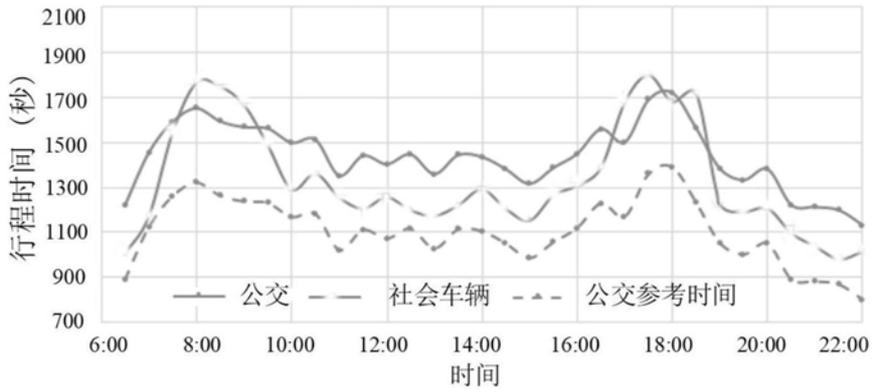


(b)

图3



(a) 从I1 to I12 行程时间



(b) 从I12 to I1 行程时间

图4