



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110364003 A

(43)申请公布日 2019.10.22

(21)申请号 201910649337.8

(22)申请日 2019.07.18

(71)申请人 大连海事大学

地址 116026 辽宁省大连市高新园区凌海
路1号

(72)发明人 岳伟 王云鹏 王丽媛

(74)专利代理机构 大连东方专利代理有限责任
公司 21212

代理人 姜玉蓉 李洪福

(51) Int. Cl.

G08G 1/087(2006.01)

B61L 29/00(2006.01)

B61L 23/00(2006.01)

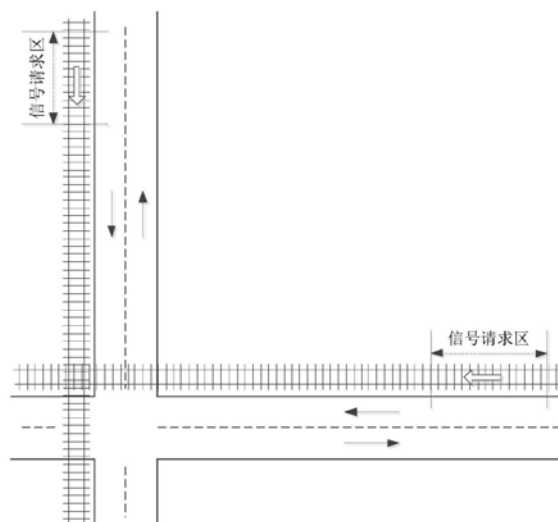
权利要求书3页 说明书10页 附图3页

(54)发明名称

基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,包括如下步骤:S1:设置信号优先请求区;S2:检测两条有轨电车线路中是否有新进入信号优先请求区的有轨电车发起信号优先请求,如果没有则采用已有路口信号配时方案控制有轨电车的通行;S3:当检测到新有轨电车发起信号优先请求后,为其设计对应的信号优先策略;S4:基于建立的交叉口离散交通流模型预测在信号优先策略下交叉口社会车辆的综合最大排队长度;S5:判断当前信号优先请求是否与对向线路中已有的有轨电车信号优先请求发生冲突,如果发生冲突确定冲突类型;S6:确定双线路信号优先策略序列、更新已有路口信号配时方案后执行。



1. 一种基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征在于包括:

S1: 在两条有轨电车线路中分别设置信号优先请求区;

S2: 实时检测两条有轨电车线路中是否有新进入信号优先请求区的有轨电车发起信号优先请求,如果没有则采用已有路口信号配时方案控制有轨电车的通行;

S3: 当检测到新有轨电车发起信号优先请求后,为其设计对应的信号优先策略;

S4: 采集信号优先请求时刻的各车道社会车辆行驶信息,基于建立的交叉口离散交通流模型预测在信号优先策略下交叉口社会车辆的综合最大排队长度;

S5: 判断当前信号优先请求是否与对向线路中已有的有轨电车信号优先请求发生冲突、如果发生冲突确定冲突类型;

S6: 确定双线路信号优先策略序列、并更新已有路口信号配时方案后执行。

2. 根据权利要求1所述的基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征还在于:所述各车道社会车辆行驶信息包括汽车的位置、速度、加速度以及期望速度信息。

3. 根据权利要求1所述的基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征在于,所述信号优先策略为缩短新进入有轨电车对应车道方向某一信号循环的红色相位长度,其中采用两种方式进行缩短,第一种方式为将该红色相位开始时间延后,第二种方式为:将该红色相位结束时间提前;

设新进入有轨电车到达路口的时间为 $t_{tram} = \frac{d_{tram}}{v_{tram}}$, 如果按照既定配时策略, t_{tram} 时刻落于红色相位,则需要设计信号优先策略,设既定信号配时中该红色相位的起始和结束时间分别为 $t_{r,b}$, $t_{r,e}$, 则红色相位开始时间延后量为

$$\Delta t_{r,b} = t_{tram} - t_{r,b} + \sigma$$

而红色相位结束时间提前量为

$$\Delta t_{r,e} = t_{r,e} - t_{tram} + \sigma$$

其中, σ 为一固定时间常数,确保有轨电车可以通过交叉口;

如果按照既定配时策略, t_{tram} 时刻落于绿色相位,则确定信号优先策略幅值为零,即 $\Delta t_{r,b} = \Delta t_{r,e} = 0$ 。

4. 根据权利要求1所述的基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征还在于:交叉口离散交通流模型采用如下方式建立:

设当前方无其他车辆或者信号灯限制、车辆按照期望的速度行驶;当车辆与前车的车间距离减小至最小安全车距 h_{min} 时,车辆从行驶于期望速度的状态切换至跟随于前方车辆速度的状态,并且与前方车辆保持最小安全车距,其中最小安全车距定义为:前方车辆紧急制动时,车辆从当前速度以安全加速度将速度减至零所需要的距离;

$$h_{min} = \alpha \cdot v + \beta \cdot v^2 + \delta$$

式中 v 为车辆实时速度, α 表示驾驶员平均反应时间, β 为车辆平稳减速信息, δ 为停车时两车间的安全距离。

5. 根据权利要求1所述的基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征还在于:S4具体采用如下方式:

S41: 根据两种信号优先策略 $\Delta t_{r,b}$ 、 $\Delta t_{r,e}$ 分别与已有路口信号配时方案进行叠加,得

到两种新的路口信号配时方案；

S42:在两种新的路口信号配时方案下,对交叉口各车道中车辆进行编号,根据交叉口离散交通流模型分别得到各车道中社会车辆排队长度离散动态变化如下,

$$Q_k(t+\Delta t|\Delta t_{r,b})=Q_k(t|\Delta t_{r,b})+\text{Num}_{in}(t+\Delta t|t,\Delta t_{r,b})-\text{Num}_{out}(t+\Delta t|t,\Delta t_{r,b}),k\in H$$

$$Q_k(t+\Delta t|\Delta t_{r,e})=Q_k(t|\Delta t_{r,e})+\text{Num}_{in}(t+\Delta t|t,\Delta t_{r,e})-\text{Num}_{out}(t+\Delta t|t,\Delta t_{r,e}),k\in H$$

S43:获得各车道在两种新的信号优先策略下的最大排队长度 $Q_{\max,k}(\Delta t_{r,b})$ 、 $Q_{\max,k}(\Delta t_{r,e})$, $k\in H$;

S44:将所有车道的最大排队长度相加,得到两种信号优先策略下 $(\Delta t_{r,b},\Delta t_{r,e})$ 交叉口综合最大排队长度 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b})$ 和 $Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$ 。

6.根据权利要求1所述的基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征还在于:S5具体采用如下方式:

S51:判断新的有轨电车信号优先请求是否与已有的未响应有轨电车信号优先请求($\Delta t_{r,b}^p$ 或 $\Delta t_{r,e}^p$)在交叉口相同信号循环周期内响应,如果是则进入下一步,否则判定为无冲突;

S52:判断新的有轨电车信号优先策略 $(\Delta t_{r,b},\Delta t_{r,e})$ 幅值是否为零,如果为非零则进入下一步,否则判定为无冲突;

S53:判断新的有轨电车信号优先请求是否由已有对向有轨电车信号优先策略引发,如果是则做如下判断,否则判定为无冲突;

如果已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位开始时间延后,延后量为 $\Delta t_{r,b}^p$,而新进入有轨电车到达路口时间 $t_{tram}\in[t_{r,b}^p,t_{r,b}^p+\Delta t_{r,b}^p]$,则新的有轨电车信号优先请求与已有对向信号优先请求冲突,定义第一冲突;

如果已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位结束时间提前,提前量为 $\Delta t_{r,e}^p$,而新进入有轨电车到达路口时间 $t_{tram}\in[t_{r,e}^p-\Delta t_{r,e}^p,t_{r,e}^p]$,则新的有轨电车信号优先请求与已有对向信号优先请求冲突,定义第二冲突;

如果已有对向有轨电车信号优先幅值为零,而对向有轨电车到达路口时间 $t_{tram}^p\in[t_{r,e}-\Delta t_{r,e},t_{r,e}]$,则新的有轨电车信号优先请求与对向有轨电车信号冲突,定义第三冲突;

如果已有对向有轨电车信号优先幅值为零,而对向有轨电车到达路口时间 $t_{tram}^p\in[t_{r,b},t_{r,b}+\Delta t_{r,b}]$,则新的有轨电车信号优先请求与对向有轨电车信号冲突,定义第四冲突。

7.根据权利要求6所述的基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,其特征还在于:S6具体采用如下方式:

S61:如果无冲突,则对新发起的有轨电车信号优先策略、选择交叉口综合最大排队长度最小的方式,即如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b})\leq Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$,则选择将红色相位开始时间延后,如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b})>Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$,则选择将红色相位结束时间提前;

S62:如果是第一冲突,则调整当前新进入有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram}=t_{r,b}^p+\Delta t_{r,b}^p$,如果 $(r^p-\Delta t_{r,b}^p)>\sigma$ 成立,则无需进行信号调整;若不成立,则设计红灯开始时间

延后量为 $\Delta t_{r,b} = \sigma - (r^p - \Delta t_{r,b}^p)$;

S63: 如果是第二冲突: 则调整当前新进入有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{ram}^p = t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma$, 如果 $(t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma) < t_{r,b}^p$ 成立, 则对前一信号循环中红色相位的结束时间进行提前, 提前量为 $\Delta t_{r,e} = t_{r,b}^p - (t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma)$; 若不成立, 则无需进行信号调整;

S64: 如果是第三冲突: 则调整对向有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma$, 如果 $(t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma) < t_{r,e}^p$ 成立, 则向对向有轨电车提供信号优先, 即对当前循环中红色相位的结束时间进行提前, 提前量为 $\Delta t_{r,e}^p = t_{r,e}^p - (t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma)$; 若不成立, 则无需进行信号调整;

S65: 如果是第四冲突: 则调整对向有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,b} + \Delta t_{r,b}$;

S66: 如果 $(t_{r,b} + \Delta t_{r,b} + \sigma) > t_{r,e}$ 成立, 则向对向有轨电车提供信号优先, 即对后一信号循环中红色相位的开始时间进行延后, 提前量为 $\Delta t_{r,b}^p = (t_{r,b} + \Delta t_{r,b} + \sigma) - t_{r,e}$; 若不成立, 则无需进行信号调整。

基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及交通运输控制领域,尤其涉及一种基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法。

背景技术

[0002] 随着城市的发展,民用车辆的数量不断增加,但是现有的交通设施和控制方法却无法适应日益增多的车辆对道路通行的需求,因此产生的交通拥堵、尾气排放和安全事故日益加剧。现代有轨电车作为一种中等运力的轨道交通工具,具有成本低,无污染,速度快,舒适度高的优点。有轨电车在道路上一般采用半独立路权的方式运行,在道路上通过专属轨道行驶区行驶,而在道路交叉口则与社会车辆、行人共享路权。

[0003] 随着我国现代有轨电车的不断建设与线路的增加,将陆续出现双条有轨电车线路在路口交叉通过的情况,不仅与常规道路交通车辆存在通行冲突,且对向有轨电车线路之间也存在通行冲突。目前针对双线路交叉情形,一般采用先请求先通行的双路信号优先协调策略。但是,此策略效率较低,无法协同考虑有轨电车与社会车辆的通行需求。

[0004] 而随着传感器和通信技术的飞速发展,借助信息采集技术和无线通信技术来实现人、车、路信息交互从而实现车联网技术的逐渐普及,借助于该技术优化交通中行驶的各类车辆,改善交通设施与各类车辆的协同性,缓解交通拥堵,提高通行效率。交叉口排队长度是交通控制的重要决策变量和评估指标。因此,借助于车联网技术对于不同有轨电车信号优先策略下交叉口车辆排队长度进行实时预测,并以此为依据优化双路有轨电车信号优先请求的响应,可以提高有轨电车信号优先控制的效率。然而现有的交叉口双路有轨电车信号优先控制方法,无法协同考虑双路有轨电车的信号优先请求,因此给有轨电车的通行带来一定的安全隐患和交通不便。

发明内容

[0005] 根据现有技术存在的问题,本发明公开了一种基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,具体包括以下步骤:

[0006] S1:在两条有轨电车线路中分别设置信号优先请求区;

[0007] S2:实时检测两条有轨电车线路中是否有新进入信号优先请求区的有轨电车发起信号优先请求,如果没有则采用已有路口信号配时方案控制有轨电车的通行;

[0008] S3:当检测到新有轨电车发起信号优先请求后,为其设计对应的信号优先策略;

[0009] S4:采集信号优先请求时刻的各车道社会车辆行驶信息,基于建立的交叉口离散交通流模型预测在信号优先策略下交叉口社会车辆的综合最大排队长度;

[0010] S5:判断当前信号优先请求是否与对向线路中已有的有轨电车信号优先请求发生冲突、如果发生冲突确定冲突类型;

[0011] S6:确定双线路信号优先策略序列、并更新已有路口信号配时方案后执行。

[0012] 进一步的,所述各车道社会车辆行驶信息包括汽车的位置、速度、加速度以及期望

速度信息。

[0013] 进一步的,所述信号优先策略为缩短新进入有轨电车对应车道方向某一信号循环的红色相位长度,其中采用两种方式进行缩短,第一种方式为将该红色相位开始时间延后,第二种方式为:将该红色相位结束时间提前;

[0014] 设新进入有轨电车到达路口的时间为 $t_{tram} = \frac{d_{tram}}{v_{tram}}$,如果按照既定配时策略, t_{tram} 时刻落于红色相位,则需要设计信号优先策略,设既定信号配时中该红色相位的起始和结束时间分别为 $t_{r,b}, t_{r,e}$,则红色相位开始时间延后量为

$$[0015] \quad \Delta t_{r,b} = t_{tram} - t_{r,b} + \sigma$$

[0016] 而红色相位结束时间提前量为

$$[0017] \quad \Delta t_{r,e} = t_{r,e} - t_{tram} + \sigma$$

[0018] 其中, σ 为一固定时间常数,确保有轨电车可以通过交叉口;

[0019] 如果按照既定配时策略, t_{tram} 时刻落于绿色相位,则确定信号优先策略幅值为零,即 $\Delta t_{r,b} = \Delta t_{r,e} = 0$ 。

[0020] 进一步的,所述交叉口离散交通流模型采用如下方式建立:

[0021] 设当前方无其他车辆或者信号灯限制、车辆按照期望的速度行驶;当车辆与前车的车间距离减小至最小安全车距 h_{min} 时,车辆从行驶于期望速度的状态切换至跟随于前方车辆速度的状态,并且与前方车辆保持最小安全车距,其中最小安全车距定义为:前方车辆紧急制动时,车辆从当前速度以安全加速度将速度减至零所需要的距离;

$$[0022] \quad h_{min} = \alpha \cdot v + \beta \cdot v^2 + \delta$$

[0023] 式中 v 为车辆实时速度, α 表示驾驶员平均反应时间, β 为车辆平稳减速信息, δ 为停车时两车间的安全距离。

[0024] 进一步的,S4具体采用如下方式:

[0025] S41:根据两种信号优先策略 $\Delta t_{r,b}, \Delta t_{r,e}$ 分别与已有路口信号配时方案进行叠加,得到两种新的路口信号配时方案;

[0026] S42:在两种新的路口信号配时方案下,对交叉口各车道中车辆进行编号,根据交叉口离散交通流模型分别得到各车道中社会车辆排队长度离散动态变化如下,

$$[0027] \quad Q_k(t + \Delta t | \Delta t_{r,b}) = Q_k(t | \Delta t_{r,b}) + \text{Num}_{in}(t + \Delta t | t, \Delta t_{r,b}) - \text{Num}_{out}(t + \Delta t | t, \Delta t_{r,b}), k \in H$$

$$[0028] \quad Q_k(t + \Delta t | \Delta t_{r,e}) = Q_k(t | \Delta t_{r,e}) + \text{Num}_{in}(t + \Delta t | t, \Delta t_{r,e}) - \text{Num}_{out}(t + \Delta t | t, \Delta t_{r,e}), k \in H$$

[0029] S43:获得各车道在两种新的信号优先策略下的最大排队长度 $Q_{max,k}(\Delta t_{r,b}), Q_{max,k}(\Delta t_{r,e}), k \in H$;

[0030] S44:将所有车道的最大排队长度相加,得到两种信号优先策略下 $(\Delta t_{r,b}, \Delta t_{r,e})$ 交叉口综合最大排队长度 $Q_{max}(\Delta t_{r,b})$ 和 $Q_{max}(\Delta t_{r,e})$ 。

[0031] 进一步的,S5具体采用如下方式:

[0032] S51:判断新的有轨电车信号优先请求是否与已有的未响应有轨电车信号优先请求 ($\Delta t_{r,b}^p$ 或 $\Delta t_{r,e}^p$) 在交叉口相同信号循环周期内响应,如果是则进入下一步,否则判定为无冲突;

[0033] S52:判断新的有轨电车信号优先策略($\Delta t_{r,b}$, $\Delta t_{r,e}$)幅值是否为零,如果为非零则进入下一步,否则判定为无冲突;

[0034] S53:判断新的有轨电车信号优先请求是否由已有对向有轨电车信号优先策略引发,如果是则做如下判断,否则判定为无冲突;

[0035] 如果已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位开始时间延后,延后量为 $\Delta t_{r,b}^p$,而新进入有轨电车到达路口时间 $t_{tram} \in [t_{r,b}^p, t_{r,b}^p + \Delta t_{r,b}^p]$,则新的有轨电车信号优先请求与已有对向信号优先请求冲突,定义第一冲突;

[0036] 如果已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位结束时间提前,提前量为 $\Delta t_{r,e}^p$,而新进入有轨电车到达路口时间 $t_{tram} \in [t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p, t_{r,e}^p]$,则新的有轨电车信号优先请求与已有对向信号优先请求冲突,定义第二冲突;

[0037] 如果已有对向有轨电车信号优先幅值为零,而对向有轨电车到达路口时间 $t_{tram}^p \in [t_{r,e} - \Delta t_{r,e}, t_{r,e}]$,则新的有轨电车信号优先请求与对向有轨电车信号冲突,定义第三冲突;

[0038] 如果已有对向有轨电车信号优先幅值为零,而对向有轨电车到达路口时间 $t_{tram}^p \in [t_{r,b}, t_{r,b} + \Delta t_{r,b}]$,则新的有轨电车信号优先请求与对向有轨电车信号冲突,定义第四冲突。

[0039] 进一步的,S6具体采用如下方式:

[0040] S61:如果无冲突,则对新发起的有轨电车信号优先策略、选择交叉口综合最大排队长度最小的方式,即如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b}) \leq Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$,则选择将红色相位开始时间延后,如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b}) > Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$,则选择将红色相位结束时间提前;

[0041] S62:如果是第一冲突,则调整当前新进入有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram} = t_{r,b}^p + \Delta t_{r,b}^p$,如果 $(r^p - \Delta t_{r,b}^p) > \sigma$ 成立,则无需进行信号调整;若不成立,则设计红灯开始时间延后量为 $\Delta t_{r,b} = \sigma - (r^p - \Delta t_{r,b}^p)$;

[0042] S63:如果是第二冲突:则调整当前新进入有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram} = t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma$,如果 $(t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma) < t_{r,b}^p$ 成立,则对前一信号循环中红色相位的结束时间进行提前,提前量为 $\Delta t_{r,e} = t_{r,b}^p - (t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma)$;若不成立,则无需进行信号调整;

[0043] S64:如果是第三冲突:则调整对向有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma$,如果 $(t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma) < t_{r,e}^p$ 成立,则向对向有轨电车提供信号优先,即对当前循环中红色相位的结束时间进行提前,提前量为 $\Delta t_{r,e}^p = t_{r,e}^p - (t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma)$;若不成立,则无需进行信号调整;

[0044] S65:如果是第四冲突:则调整对向有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,b} + \Delta t_{r,b}$;

[0045] S66:如果 $(t_{r,b} + \Delta t_{r,b} + \sigma) > t_{r,e}$ 成立,则向对向有轨电车提供信号优先,即对后一信号循环中红色相位的开始时间进行延后,提前量为 $\Delta t_{r,b}^p = (t_{r,b} + \Delta t_{r,b} + \sigma) - t_{r,e}$;若不成立,则无需

进行信号调整。

[0046] 由于采用了上述技术方案,本发明提供的一种基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,本方法利用离散交通流模型对交叉口车辆排队进行预测并评估不同的信号优先策略。采用了基于实时采集交通信息进行离散迭代的计算方式,不需要利用大量的统计数据训练学习或者拟合交通流分布。因此应用中能够对交通流的实时变化进行更准确的反映。于此同时,由于是采用数值计算的方式进行预测,随着离散迭代步长的缩短,预测的精确度会不断提高,使得本发明在随机可变的交通环境中,仍然有很好的控制效果。

[0047] 另外本方法综合考虑了有轨电车与社会车辆的通行需求,通过选择社会车辆综合交叉口排队长度最短的策略,来减少信号优先策略对于社会车辆的影响。于此同时,本发明设计了一种新的对向线路有轨电车信号优先冲突的解决方法,通过评估冲突类型,结合不同的有轨电车的到达时间调整建议,使得对向有轨电车能在保证安全的前提下,各自顺利不停车通过交叉口。

附图说明

[0048] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0049] 图1是双线路有轨电车交叉路口信号优先请求区设置与路口交通示意图;

[0050] 图2是双线路有轨电车信号优先控制策略流程图;

[0051] 图3是交叉口综合最大排队长度计算流程图;

具体实施方式

[0052] 为使本发明的技术方案和优点更加清楚,下面结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚完整的描述:

[0053] 如图1所示的一种基于车联网的交叉路口双线路有轨电车信号优先控制方法,具体包括以下步骤:

[0054] S1:在两条有轨电车线路中,设置信号优先请求区:

[0055] 信号优先请求区长度为 R ,覆盖轨道范围为距离路口停车线 s 处至距离路口停车线 $S+R$ 处。有轨电车自远处驶进信号优先请求区时,方可发送信号优先请求。而有轨电车驶出信号优先请求区后,则确定的信号优先请求不会再发生改变。对向有轨电车冲突的信号优先请求在信号优先请求区中进行处理。 S 与 R 的长度设置保证如果对向有轨电车已经驶出信号优先请求区,则新进入信号优先请求区的有轨电车不会与其发生冲突。

[0056] S2:实时检测两条线路中是否有新进入信号优先请求区的有轨电车,如没有新有轨电车进入,交叉口控制方式为按照既定配时策略:

[0057] 两条线路同时检测是否有新有轨电车进入其信号优先请求区,如完全没有有轨电车正在接近交叉口,即没有信号优先请求已发起而未响应,交叉口特定车道信号为固定配时策略。当存在有轨电车已经最终确定的信号优先请求而未响应时,则既定配时策略为固

定配时策略叠加已确定信号优先策略。如果当前只有一个线路方向有轨电车发起信号优先请求,且没有已申请未响应的对向有轨电车信号优先请求(以p表示),则当前发起线路方向车道相序为交叉口信号主相序。而当存在对向已申请未响应的有轨电车信号优先请求时,则确定已有且未响应有轨电车车道方向信号相序为主相序。一红绿循环为一周期。其中绿色相位时长以g表示,红色相位时长以r表示。

[0058] S3:当检测到有轨电车进入信号优先请求区后,为其设计对应的信号优先策略:信号优先策略设计便是缩短固定配时策略中新进入有轨电车对应车道方向某一信号循环的红色相位长度。包括两种方式,i)将该红色相位开始时间延后;ii)将该红色相位结束时间提前。设新进入有轨电车到达路口的时间为 $t_{tram} = \frac{d_{tram}}{v_{tram}}$ 。如果按照既定配时策略, t_{tram} 时刻落

于红色相位,则需要设计信号优先策略。设既定信号配时中红色相位的起始与结束时间为 $t_{r,b}, t_{r,e}$,则红色相位开始时间延后量为

$$[0059] \quad \Delta t_{r,b} = t_{tram} - t_{r,b} + \sigma$$

[0060] 而红色相位结束时间提前量为

$$[0061] \quad \Delta t_{r,e} = t_{r,b} - t_{tram} + \sigma$$

[0062] 其中, σ 为一固定时间常数,确保有轨电车可以通过交叉口。

[0063] 而如果按照既定配时策略, t_{tram} 时刻落于绿色相位,则确定信号优先策略幅值为零,即 $\Delta t_{r,b} = \Delta t_{r,e} = 0$

[0064] S4:采集信号优先请求时刻的道路社会车辆行驶信息:在新有轨电车进入信号优先请求区时,基于车联网收集所有车道中社会车辆的信息,包括位置,速度,加速度,以及期望速度。

[0065] S5:基于交叉口离散交通流模型,预测在设计的不同信号优先策略下交叉口社会车辆的综合最大排队长度:

[0066] 首先建立交叉口离散交通流模型,离散交通流中车辆的行驶状态是参照于车辆之间的间距。当前方无其他车辆或者信号灯限制,车辆按照期望的速度行驶;当车辆与前车的车间距离减小至最小安全车距时(h_{min}),车辆从行驶于期望速度的状态切换至跟随于前方车辆速度的状态,并且与前方车辆保持最小安全车距。最小安全车距定义为,前方车辆紧急制动时,车辆从当前速度以一个安全的加速度将速度减至为零所需要的距离,

$$[0067] \quad h_{min} = \alpha \cdot v + \beta \cdot v^2 + \delta$$

[0068] 式中 α, β 和 δ 都是基于道路安全限制进行确定的模型参数。 α 表示驾驶员平均反应时间, β 为车辆平稳减速信息, δ 为停车时两车间的安全距离

[0069] 然后,根据上述模型来确定交叉口综合最大排队长度。

[0070] 确定新进入有轨电车所需的两种信号优先策略($\Delta t_{r,b}, \Delta t_{r,e}$)。然后通过既定信号配时,得到有轨电车到达交叉口的特定信号循环,并将此信号循环离散化。对应两种信号优先策略,确定交叉口所有车道方向在每个迭代离散时刻的交叉口信号信息,

$$tIs_k(t|\Delta t_{r,b}) \begin{cases} 1 & \text{红} \\ 0 & \text{绿} \end{cases}, k \in H, \quad tIs_k(t|\Delta t_{r,e}) \begin{cases} 1 & \text{红} \\ 0 & \text{绿} \end{cases}, k \in H。H \text{ 为交叉口所有车道集合。} t=0 \text{ 为此信号循环初始时刻。}$$

环初始时刻。

[0071] 将交叉口某一车道(第k车道)中车辆进行编号,根据权利要求5中所述交通流离散

模型,当前车道中车辆*i*+1在某一信号优先策略下($\Delta t_{r,b}$)不同迭代离散时刻的速度与位置的计算如下:

[0072] i) *i*+1车辆前方为信号灯,车辆的行驶只需要参照信号灯状态,因此车辆在下一迭代离散时刻的速度与加速度计算如下,

$$[0073] \quad v_{i+1}(t + \Delta t) = \begin{cases} v_{des,i+1}(t + \Delta t), & (l_{stop} - l_i(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) > h_{\min}(v_{i+1}(t)) \\ v_d(t + \Delta t), & (l_{stop} - l_i(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) \leq h_{\min}(v_{i+1}(t)) \end{cases}$$

$$[0074] \quad l_{i+1}(t + \Delta t) = \begin{cases} l_{i+1}(t) + d_{i+1}^{t,t+\Delta t}, & (l_{stop} - l_i(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) > h_{\min}(v_{i+1}(t)) \\ l_{stop} - h_{\min}(v_d(t)), & (l_{stop} - l_i(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) \leq h_{\min}(v_{i+1}(t)) \end{cases}$$

[0075] 式中, l_{stop} 为当前车道停车线位置。 $d_{i+1}^{t,t+\Delta t}$ 为车辆在迭代离散周期 $[t, t + \Delta t]$ 中以期望速度行驶时的行驶距离, $d_{i+1}^{t,t+\Delta t} = v_{des,i+1}(t) \cdot \Delta t$ 。 $v_d(t + \Delta t)$ 为车辆以惯常减速率 a_s^- 减速后的速度,即 $v_d(t + \Delta t) = v_{i+1}(t) - a_s^- \cdot \Delta t$ 。当前迭代离散时刻信号灯为绿灯时,即 $t1_{sk}(t | \Delta t_{r,b}) = 0$, $h_{\min}(v_{i+1}(t))$ 设置为负无穷,即车辆的行驶只按照自身期望速度行驶。 $v_{des,i+1}(t)$ 为车辆在*t*迭代离散时刻的期望速度。而当信号灯为红灯时, $t1_{sk}(t | \Delta t_{r,b}) = 1$, $h_{\min}(v_{i+1}(t)) = \alpha \cdot v_{i+1}(t) + \beta \cdot v_{i+1}(t)^2 + \delta$,则车辆会以减速率 a_s^- 逐渐减速并最终停车。

[0076] ii) *i*+1车辆前方为车辆*i*,车辆的行驶只参照前方车辆*i*行驶,因此下一迭代离散时刻的速度与位置计算如下:

$$[0077] \quad v_{i+1}(t + \Delta t) = \begin{cases} v_{des,i+1}(t + \Delta t), & (l_i(t + \Delta t) - \lambda - l_{i+1}(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) > h_{\min}(v_{i+1}(t)) \\ v_i(t + \Delta t), & (l_i(t + \Delta t) - \lambda - l_{i+1}(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) \leq h_{\min}(v_{i+1}(t)) \end{cases}$$

[0078]

$$l_{i+1}(t + \Delta t) = \begin{cases} l_{i+1}(t) + d_{i+1}^{t,t+\Delta t}, & (l_i(t + \Delta t) - \lambda - l_{i+1}(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) > h_{\min}(v_{i+1}(t)) \\ l_i(t + \Delta t) - \lambda - h_{\min}(v_i(t)), & (l_i(t + \Delta t) - \lambda - l_{i+1}(t) - d_{i+1}^{t,t+\Delta t}) \leq h_{\min}(v_{i+1}(t)) \end{cases}$$

[0079] 将*j*从1到*M*进行遍历搜索,寻找满足不等式 $d_{i+j}^{t,t+\Delta t} < (l_{dec,i+j}(t) - l_{i+j}(t))$ 的*j*值,则 $Num_{in}(t + \Delta t | t) = j - 1$ 为在一个离散迭代周期内 $[t, t + \Delta t]$ 当前第*k*车道中到达其排队尾部的车辆数。

[0080] 第*k*车道中在离散迭代时刻*t*的排队队头车辆为*n*,将*j*从1到*M*进行遍历搜索,寻找满足不等式 $l_{n+j}(t + \Delta t) < l_{stop}$ 的*j*值,则 $Num_{out}(t + \Delta t | t) = j - 1$ 为在一个离散迭代周期内 $[t, t + \Delta t]$ 当前第*k*车道中离开其排队头部的车辆数。

[0081] 当前第*k*车道中排队长度累计计算如下,

$$[0082] \quad Q_k(t + \Delta t | \Delta t_{r,b}) = Q_k(t | \Delta t_{r,b}) + Num_{in}(t + \Delta t | t) - Num_{out}(t + \Delta t | t)$$

[0083] 从当前第*k*车道 $Q_k(t)$ 的离散序列中,我们可以获得当前第*k*车道在信号优先策略下的最大排队长度 $Q_{max,k}(\Delta t_{r,b})$ 。将交叉口多条车道($k \in H$)的最大排队长度轮流进行计算并加和,得到两种信号优先策略下($\Delta t_{r,b}, \Delta t_{r,e}$)交叉口综合最大排队长度, $Q_{max}(\Delta t_{r,b})$ 与 $Q_{max}(\Delta t_{r,e})$ 。

[0084] S6:判断新发起信号优先策略是否与对向线路中已有的有轨电车信号优先请求发生冲突,并确定冲突类型:

[0085] 第一步判断新的有轨电车信号优先请求是否与已有的未响应有轨电车信号优先请求 ($\Delta t_{r,b}^p$ 或 $\Delta t_{r,e}^p$) 在交叉口相同信号循环周期内响应,如果是则进入下一步,否则判定为无冲突。

[0086] 第二步判断新的有轨电车信号优先策略 ($\Delta t_{r,b}$, $\Delta t_{r,e}$) 幅值是否为零,如果为非零则进入下一步,否则判定为无冲突。

[0087] 第三步判断新的有轨电车信号优先请求是否由已有对向有轨电车信号优先策略引发,如果是则做如下判断,否则判定为无冲突。

[0088] 如果已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位开始时间延后,延后量为 $\Delta t_{r,b}^p$, 而新进入有轨电车到达路口时间 $t_{tram} \in [t_{r,b}^p, t_{r,b}^p + \Delta t_{r,b}^p]$, 则新的有轨电车信号优先请求与已有对向信号优先请求冲突,冲突类型为1。

[0089] 如果已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位结束时间提前,提前量为 $\Delta t_{r,e}^p$, 而新进入有轨电车到达路口时间 $t_{tram} \in [t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p, t_{r,e}^p]$, 则新的有轨电车信号优先请求与已有对向信号优先请求冲突,冲突类型为2。

[0090] 如果已有对向有轨电车信号优先幅值为零,而对向有轨电车到达路口时间 $t_{tram}^p \in [t_{r,e} - \Delta t_{r,e}, t_{r,e}]$, 则新的有轨电车信号优先请求与对向有轨电车信号冲突,冲突类型为3。

[0091] 如果已有对向有轨电车信号优先幅值为零,而对向有轨电车到达路口时间 $t_{tram}^p \in [t_{r,b}, t_{r,b} + \Delta t_{r,b}]$, 则新的有轨电车信号优先请求与对向有轨电车信号冲突,冲突类型为4。

[0092] S7:确定双线路信号优先策略序列,并更新既定配时策略后执行:

[0093] 如果无冲突,则新发起有轨电车信号优先策略选择为使得交叉口综合最大排队长度最小的策略。即,如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b}) \leq Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$, 则选择将红色相位开始时间延后。如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b}) > Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$, 则选择将红色相位结束时间提前。

[0094] 如果冲突类型为1,则调整当前新进入有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram} = t_{r,b}^p + \Delta t_{r,b}^p$ 。如果 $(r^p - \Delta t_{r,b}^p) > \sigma$ 是否成立,则无需进行信号调整;若不成立,则设计红灯开始时间延后量为 $\Delta t_{r,b} = \sigma - (r^p - \Delta t_{r,b}^p)$ 。

[0095] 如果冲突类型为2,则调整当前新进入有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram} = t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma$ 。如果 $(t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma) < t_{r,b}^p$ 成立,则要对前一信号循环中红色相位的结束时间进行提前,提前量为 $\Delta t_{r,e} = t_{r,b}^p - (t_{r,e}^p - \Delta t_{r,e}^p - \sigma)$;若不成立,则无需进行信号调整。

[0096] 如果冲突类型为3,则调整对向有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma$ 。如果 $(t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma) < t_{r,e}^p$ 成立,则向对向有轨电车提供信号优先,即对当前循环中红色相位的结束时间进行提前,提前量为 $\Delta t_{r,e}^p = t_{r,e}^p - (t_{r,e} - \Delta t_{r,e} - \sigma)$;若不成立,则无需进行信号调整。

[0097] 如果冲突类型为4,则调整对向有轨电车速度,使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,b} + \Delta t_{r,b}$ 。

[0098] 如果 $(t_{r,b} + \Delta t_{r,b} + \sigma) > t_{r,e}$ 成立,则向对向有轨电车提供信号优先,即对后一信号循

环中红色相位的开始时间进行延后,提前量为 $\Delta t_{r,b}^p = (t_{r,b} + \Delta t_{r,b} + \sigma) - t_{r,e}$;若不成立,则无需进行信号调整。

[0099] 确定好双线路有轨电车信号优先策略后,将信号优先策略与既定配时策略叠加后,由交叉口信号灯执行。

[0100] 实施例:

[0101] 在交叉路口沿双线路有轨电车驶入方向依次设置信号请求区,信号请求区的长度为R,距离交叉路口停车线的距离为S。信号请求区中安装有轨电车检测器,以获取有轨电车位置与速度信息等,并向交叉路口信号灯控制器发送有轨电车信号优先请求。有轨电车专用轨道在道路右侧铺设,如图1和图2所示。

[0102] (1) 信号请求区实时检测是否有新进入请求区的有轨电车,如没有则按照交通信号既定配时策略 $SPaT = \{t_{r,b,i}, t_{r,e,i}\}_{i=0}^{\infty}$ 进行交叉路口控制,其中 $i=0$ 表示当前信号相位,进入(12)。如有新进入有轨电车,则根据其行驶速度以及距离交叉路口的距离来计算该有轨电车到达交叉路口的时间, $t_{tram} = \frac{d_{tram}}{v_{tram}}$ 。然后,进入(2)。

[0103] (2) 判断 t_{tram} 是否落于红色相位中,即 $t_{tram} \in (t_{r,b,0}, t_{r,e,0}) \cup (t_{r,b,1}, t_{r,e,1}) \cup \dots$ 。如果 $t_{tram} \in (t_{r,b,0}, t_{r,e,0}) \cup (t_{r,b,1}, t_{r,e,1}) \cup \dots$ 成立,则需要进行信号优化策略的设计,进入(3)。否则,无需进行信号优先策略的设计, $\Delta t_{r,b,j} = \Delta t_{r,e,j} = 0$ 进入(13)。

[0104] (3) 设 $t_{tram} \in (t_{r,b,j}, t_{r,e,j})$, 则根据红色相位开始时间延后策略,信号循环j的红色相位开始时间延后量为 $\Delta t_{r,b,j} = t_{tram} - t_{r,b,j} + \sigma$ 。而根据红色相位结束时间提前策略,信号循环j的红色相位开始时间延后量为 $\Delta t_{r,e,j} = t_{r,e,j} - t_{tram} + \sigma$ 。然后,进入(4)。

[0105] (4) 根据两种信号优先策略,得到两种新的信号配时策略 $SPaT(\Delta t_{r,b,j}) = \{t_{r,b,i}, t_{r,e,i}\}_{i=0, i \neq j}^{\infty} \cup \{t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j}, t_{r,e,j}\}$ 与 $SPaT(\Delta t_{r,e,j}) = \{t_{r,b,i}, t_{r,e,i}\}_{i=0, i \neq j}^{\infty} \cup \{t_{r,b,j}, t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j}\}$ 。并利用交叉口离散交通流模型对于两种新的信号配时策略下交叉口综合最大排队长度, $Q_{\max}(\Delta t_{r,b,j})$ 与 $Q_{\max}(\Delta t_{r,e,j})$, 如图3所示。然后,进入(5)。

[0106] (5) 判断当前是否有已发起且未响应的对向有轨电车信号优先请求, ($\Delta t_{r,b,i}^p > 0$ 或 $\Delta t_{r,e,i}^p > 0$)。如果 $i \neq j$, 则判定为无冲突,进入(9)。否则进入(6)。

[0107] (6) 判断新的有轨电车信号优先请求是否由已有对象有轨电车信号优先策略引发。如果是,即 $t_{tram} \in (t_{r,b,i}^p, t_{r,b,i}^p + \Delta t_{r,b,i}^p) \cup (t_{r,e,i}^p - \Delta t_{r,e,i}^p, t_{r,e,i}^p)$, 则进入(7)。否则进入(9)。

[0108] (7) 如果 $\Delta t_{r,b,i}^p > 0$ 且 $\Delta t_{r,e,i}^p = 0$, 则说明已有对向有轨电车信号优先策略为将信号循环i的开始时间延后,冲突类型判断为1。如果 $\Delta t_{r,e,i}^p > 0$ 且 $\Delta t_{r,b,i}^p = 0$, 则说明已有对向有轨电车信号优先策略为将某一红色相位结束时间提前,冲突类型判断为2。

[0109] (8) 如果 $\Delta t_{r,e,i}^p = 0$ 且 $\Delta t_{r,b,i}^p = 0$, $t_{tram} \in [t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j}, t_{r,e,j}] \cup [t_{r,b,j}, t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j}]$ 即已有对向有轨电车会受到当前新进入有轨电车信号优先策略的影响。当 $t_{tram} \in [t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j}, t_{r,e,j}]$ 时,冲突类型判断为3。而当 $t_{tram} \in [t_{r,b,j}, t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j}]$, 则冲突类型判断为4。然后,进入(10)。如果以上情况均不满足,则判断为无冲突,进入(9)。

[0110] (9) 新发起的有轨电车信号优先策略选择为, 如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b}) \leq Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$, 则选择将红色相位开始时间延后, $\Delta t_{r,e,j} = 0$ 。如 $Q_{\max}(\Delta t_{r,b}) > Q_{\max}(\Delta t_{r,e})$, 则选择将红色相位结束时间提前, $\Delta t_{r,b,j} = 0$ 。然后进入 (11)。

[0111] (10) 如果冲突类型为1, 则调整当前新进入有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{ram} = t_{r,b,i}^p + \Delta t_{r,b,i}^p$ 。到达时间变化量为 $\Delta t_v = (t_{r,b,i}^p + \Delta t_{r,b,i}^p) - t_{ram}$ 。如果 $(r^p - \Delta t_{r,b,i}^p) > \sigma$ 是否成立, 则无需进行信号调整, $\Delta t_{r,b,j} = \Delta t_{r,e,j} = 0$; 若不成立, 则设计红灯开始时间延后量为 $\Delta t_{r,b,j} = \sigma - (r^p - \Delta t_{r,b,i}^p)$ 。

[0112] 如果冲突类型为2, 则调整当前新进入有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{ram} = t_{r,e,i}^p - \Delta t_{r,e,i}^p - \sigma$ 。到达时间变化量为 $\Delta t_v = (t_{r,e,i}^p - \Delta t_{r,e,i}^p - \sigma) - t_{ram}$ 。如果 $(t_{r,e,i}^p - \Delta t_{r,e,i}^p - \sigma) < t_{r,b,i}^p$ 成立, 则要对前一信号循环中红色相位的结束时间进行提前, 提前量为 $\Delta t_{r,e,j} = t_{r,b,i}^p - (t_{r,e,i}^p - \Delta t_{r,e,i}^p - \sigma)$; 若不成立, 则无需进行信号调整, $\Delta t_{r,b,j} = \Delta t_{r,e,j} = 0$ 。

[0113] 如果冲突类型为3, 则调整对向有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j} - \sigma$ 。到达时间变化量为 $\Delta t_v^p = (t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j} - \sigma) - t_{tram}^p$ 。如果 $(t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j} - \sigma) < t_{r,e,i}^p$ 成立, 则向对向有轨电车提供信号优先, 即对当前循环中红色相位的结束时间进行提前, 提前量为 $\Delta t_{r,e,i}^p = t_{r,e,i}^p - (t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j} - \sigma)$; 若不成立, 则无需进行信号调整, $\Delta t_{r,b,i}^p = \Delta t_{r,e,i}^p = 0$ 。

[0114] 如果冲突类型为4, 则调整对向有轨电车速度, 使其到达路口时间为 $t_{tram}^p = t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j}$ 。到达时间变化量为 $\Delta t_v^p = (t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j}) - t_{tram}^p$ 。如果 $(t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j} + \sigma) > t_{r,e,j}$ 成立, 则向对向有轨电车提供信号优先, 即对后一信号循环中红色相位的开始时间进行延后, 提前量为 $\Delta t_{r,b,i}^p = (t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j} + \sigma) - t_{r,e,j}$; 若不成立, 则无需进行信号调整, $\Delta t_{r,b,i}^p = \Delta t_{r,e,i}^p = 0$ 。

[0115] (11) 将计算得到的 $\Delta t_{r,b,i}^p$, $\Delta t_{r,e,i}^p$, $\Delta t_{r,b,j}$, $\Delta t_{r,e,j}$ 分别于固定时长信号控制策略进行叠加, 得到最终的交叉路口信号控制策略, 然后进入 (12)

[0116]

$$SPaT(\Delta t_{r,b,i}^p, \Delta t_{r,e,i}^p, \Delta t_{r,b,j}, \Delta t_{r,e,j}) = \{t_{r,b,k}, t_{r,e,k}\}_{k=0, k \neq i, j}^{\infty} \cup \{t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,j}, t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,j}\} \cup \{t_{r,b,j} + \Delta t_{r,b,i}^p, t_{r,e,j} - \Delta t_{r,e,i}^p\}。$$

[0117] (12) 根据有轨电车到达时间变化量, 计算得到速度调节策略。

[0118] 如果 $\Delta t_v^p > 0, \Delta t_v = 0$, 则对向有轨电车的新行驶速度为,

$$v_{new}^p = v_{tram}^p - a \left[\Delta t_v^p + t_{tram}^p - \sqrt{(\Delta t_v^p + t_{tram}^p)^2 - \frac{2v_{tram}^p \Delta t_v^p}{a}} \right];$$

[0119] 如果 $\Delta t_v^p < 0, \Delta t_v = 0$, 则对向有轨电车的新行驶速度为,

$$v_{new}^p = v_{tram}^p + a \left[\Delta t_v^p + t_{tram}^p - \sqrt{(\Delta t_v^p + t_{tram}^p)^2 - \frac{2v_{tram}^p \Delta t_v^p}{a}} \right];$$

[0120] 如果 $\Delta t_v > 0, \Delta t_v^p = 0$, 则当前有轨电车的新行驶速度为,

$$v_{new} = v_{tram} - a \left[\Delta t_v + t_{tram} - \sqrt{(\Delta t_v + t_{tram})^2 - \frac{2v_{tram} \Delta t_v}{a}} \right];$$

[0121] 如果 $\Delta t_v < 0, \Delta t_v^p = 0$,则当前有轨电车的新行驶速度为,

$$v_{new} = v_{tram} + a \left[\Delta t_v + t_{tram}^p - \sqrt{(\Delta t_v + t_{tram})^2 - \frac{2v_{tram}\Delta t_v}{a}} \right]。$$

[0122] (13) 执行交叉路口信号控制策略和有轨电车速度调节策略。

[0123] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

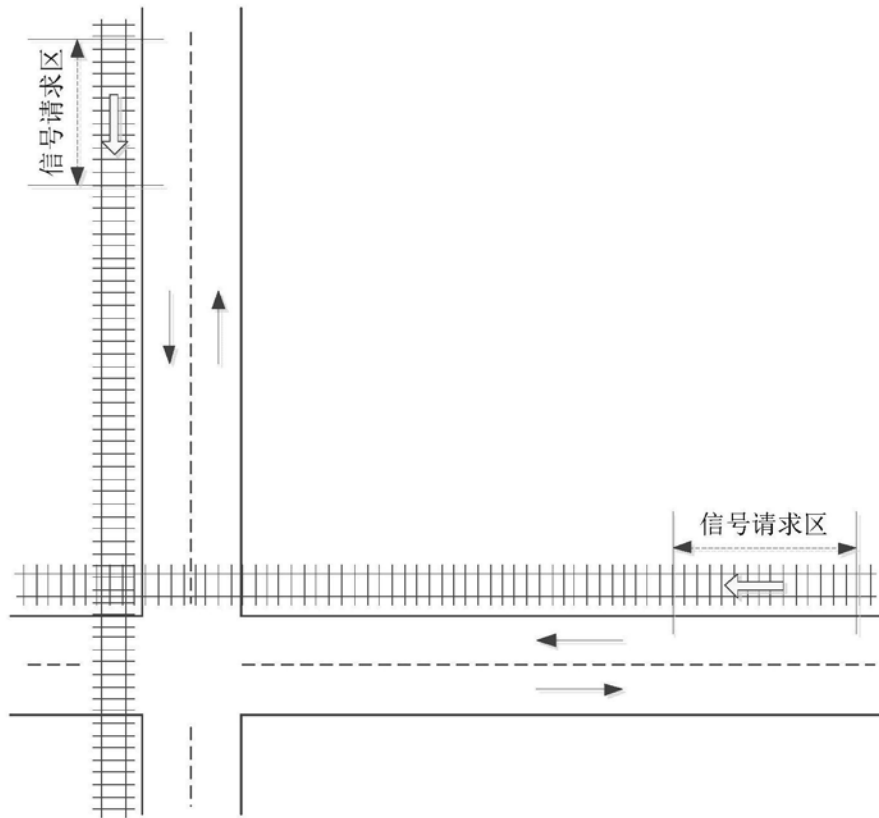


图1

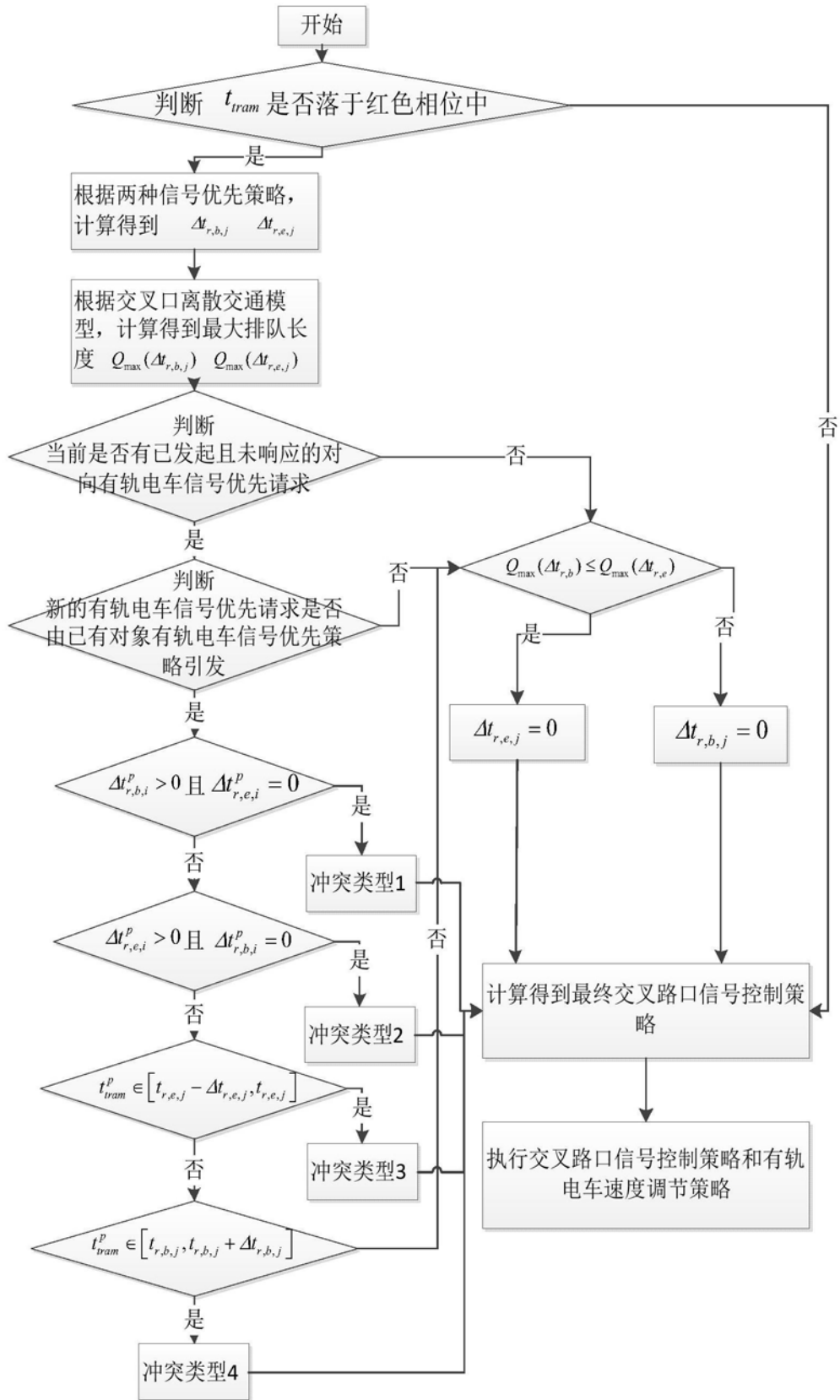


图2

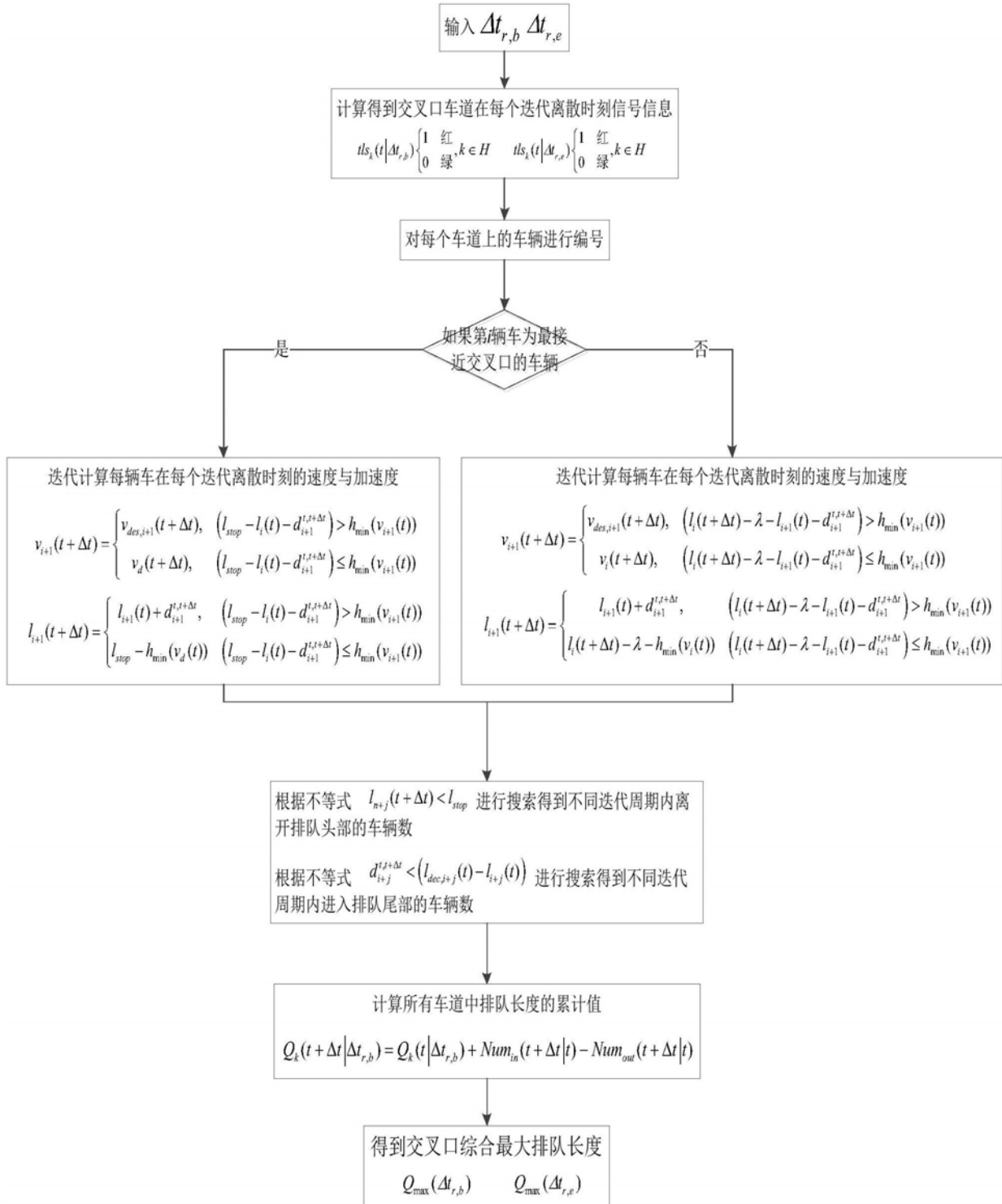


图3