



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110910646 A  
(43)申请公布日 2020.03.24

(21)申请号 201911266871.7

(22)申请日 2019.12.11

(71)申请人 上海同济城市规划设计研究院有限公司

地址 200092 上海市杨浦区国康路38号4幢  
同济规划大厦10-15层

(72)发明人 张涵双 朱俊宇 陈晓荣 刘冰

(74)专利代理机构 上海弼兴律师事务所 31283  
代理人 胡美强

(51)Int.Cl.

G08G 1/01(2006.01)

G08G 1/052(2006.01)

G08G 1/065(2006.01)

G08G 1/08(2006.01)

G08G 1/0967(2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法,该方法包括:计算交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的最佳行驶轨迹以及冲突区域;根据冲突区域和预期车辆加速度以及允许的最大专用相位时长确定各交叉口专用道控制区的长度区间,进而确定交叉口控制区域;基于前述步骤中获得的参数以及交叉口的协同控制逻辑类型生成交叉口控制逻辑算法;实时采集无人驾驶公交的通行需求;计算交叉口控制逻辑;协同控制交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆,使其分别以其最佳行驶轨迹和速度通过交叉口。根据本发明的这种协同控制方法,可协同控制无人驾驶公交车安全通过道路交叉口,避免造成与其它车辆或行人的相互冲突、干扰,通行效率和安全性。



1. 一种用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法,其特征在于,所述协同控制方法包括:

步骤1、根据预期道路行驶条件和预期车辆速度计算所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的最佳行驶轨迹以及无人驾驶公交在所述交叉口的各方向的冲突区域,其中所述最佳行驶轨迹包含最佳转弯半径和最佳转弯速度;

步骤2、根据所述冲突区域和第一类预期因素确定所述交叉口专用道控制区范围距离,进而确定交叉口控制区域,所述第一类预期因素包括预期车辆加速度及允许最大车辆数;

步骤3、基于前述步骤中获得的所述参数以及所述交叉口的协同控制逻辑类型生成交叉口控制逻辑算法;

步骤4、实时采集在所述交叉口的各方向的无人驾驶公交的通行需求,所述通行需求包括无人驾驶公交车辆的专用相位起始时间、待通行车辆的数量、方向、速度和位置;

步骤5、根据采集到的所述通行需求,利用所述交叉口控制逻辑算法计算所述交叉口的交叉口控制逻辑;

步骤6、依据计算得到的所述交叉口控制逻辑协同控制在所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆,以协同控制使其分别以其最佳行驶轨迹通过所述交叉口。

2. 如权利要求1所述的协同控制方法,其特征在于,所述步骤1中的所述预期车辆速度为由转弯速度上限值和转弯速度下限值所限定的速度区间。

3. 如权利要求1所述的协同控制方法,其特征在于,所述步骤1包括以下子步骤:

子步骤1-1、根据所述预期道路行驶条件和所述预期车辆速度计算所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的转弯半径的区间和转弯速度的区间;

子步骤1-2、计算无人驾驶公交在所述交叉口的各方向的冲突区域,进而计算各个方向与其它方向的冲突区域的总长度以及冲突区域通过时间;

子步骤1-3、在计算得到的各个方向的所述冲突区域通过时间的基础上,采用所述交叉口的各个方向的预期车流量比值进行加权汇总,形成总冲突区域通过时间;

子步骤1-4、求解所述总冲突区域通过时间的极小值,进而确定所述极小值对应的所述交叉口的各方向的所述最佳行驶轨迹。

4. 如权利要求2所述的协同控制方法,其特征在于,所述步骤2中依据以下公式(1)计算所述专用道控制区的最小长度,

$$x_0 \geq \frac{1}{2} v_x \cdot \frac{v_x}{a_0} - L_0 = \frac{v_x^2}{2a_0} - L_0 \quad (1)$$

上述公式(1)中, $x_0$ 为所述专用道控制区长度, $v_x$ 为所述转弯速度上限值, $a_0$ 为所述预期车辆加速度, $L_0$ 为进口道的停止线与最近的冲突区域的间距;以及

采用公式(2)根据最大无人公交专用相位时长 $T_{max}$ 计算所述专用道控制区的最大长度,

$$x_0 \leq \left( T_{max} * v_x - \frac{v_x^2}{a_0} - \sum_{n=1}^{\alpha} \left( l_n - \frac{v_x^2}{2a_0} \right) \right) / a \quad (2)$$

上述公式(2)中, $T_{1max}$ 为所述虚拟信号灯模式的周期时长的极大值, $a$ 为所述交叉口的进口专用道总数, $l_n$ 为第 $n$ 个进口专用道至最远端出口专用道的距离。

5. 如权利要求4所述的协同控制方法,其特征在于,所述步骤3中,所述协同控制逻辑类

型选自虚拟信号灯模式、交错通行模式或混合模式。

6. 如权利要求5所述的协同控制方法,其特征在于,当所述步骤3中基于所述虚拟信号灯模式生成所述交叉口控制逻辑算法时,所述步骤3还包括根据所述交叉口的进口专用道总数(含对向利用车道数)、各个进口专用道至其对应的最远端的出口专用道的距离,计算所述虚拟信号灯模式的周期时长。

7. 如权利要求6所述的协同控制方法,其特征在于,所述虚拟信号灯模式的周期时长通过以下公式(3)计算,

$$T_{lmax} = \sum_{n=1}^{\alpha} [(x_0 + l_n - \frac{v_x^2}{2a_0})/v_x] + \frac{v_x}{a_0} \quad (3)$$

上述公式(3)中, $T_{lmax}$ 为所述虚拟信号灯模式的周期时长的极大值, $a$ 为所述交叉口的进口专用道总数, $l_n$ 为第 $n$ 个进口专用道至最远端出口专用道的距离。

8. 如权利要求1所述的协同控制方法,其特征在于,所述步骤4还包括:判断所述待通行车辆数是否达到预设的车辆数阈值,并在判断结果为是时执行所述步骤5和所述步骤6。

9. 如权利要求8所述的协同控制方法,其特征在于,所述步骤6还包括:在所述交叉口的常规信号灯控制相位中增加无人驾驶公交专用相位,并在所述专用相位中执行虚拟信号灯周期。

## 用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无人驾驶技术的应用领域,尤其涉及一种用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法。

### 背景技术

[0002] 随着人工智能和传感器技术的发展,无人驾驶技术得到了越来越多的关注,各类科技公司以及车企纷纷发力,能应对大部分行驶环境的L4级无人驾驶车也已在实验场地甚至实际道路上测试行驶。在汽车的行驶环境中,由于会出现超车、转向、变道等情况,因此相对驾驶情况简单的地铁、火车、飞机等交通工具来说,其无人驾驶技术要求更高,目前距离真正的大规模商业普及的时间还处于不确定状态,即使能够商用,进入完全无人驾驶时代还会有一个过渡阶段。现阶段无人驾驶技术主要是以谷歌、特斯拉为代表的车辆自主判断系统,其将经过训练后的驾驶模型部署在车载控制中心,通过车辆采集到的图像、雷达、红外线等数据实时驾驶车辆,本质是模拟人类的驾驶。虽然目前无人驾驶汽车在技术上已经可以在绝大多数情况下无需人工干预行驶,但其在复杂情况的处理能力依然被人质疑。

[0003] 诸如,在路权封闭的情况下,公交车的行驶环境相对简单,BRT等快速公交系统的驾驶复杂性介于地铁和普通小汽车之间,在独立路权的专用道上行驶时与其它车辆和行人完全隔离,不存在与其它车辆交错、冲突等情况,是一种易于部署无人驾驶公交的道路交通类型。然而,其与地铁、轻轨等早已使用无人驾驶的轨道交通不同,由于运行时需要使用现有道路系统,因此如果不采取专门的措施,在交叉口处会出现与其它车辆混流和行人干扰的情况。

[0004] 因此,亟需设计一种可协同控制无人驾驶公交车安全穿越道路交叉口的控制方法,其能够避免造成与其它车辆或行人的相互冲突、干扰,防止在道路交叉口的复杂环境中因无人驾驶公交车的引入而造成交通事故或者通行效率的低下。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是为了克服由于现有的无人驾驶公交车智能化水平不足,导致在通过道路交叉口时会产生与其它车辆混流和行人干扰的不利状况,在道路交叉口容易造成车辆间的通行冲突、干扰,甚至可能引起路面通行效率的下降和事故的发生的缺陷,提出一种能提升通行效率的用于交叉口的无人驾驶公交车辆协同控制方法。

[0006] 本发明是通过采用下述技术方案来解决上述技术问题的:

[0007] 本发明提供了一种用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法,其特点在于,所述协同控制方法包括:

[0008] 步骤1、根据预期道路行驶条件和预期车辆速度计算所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的最佳行驶轨迹以及无人驾驶公交在所述交叉口的各方向的冲突区域,其中所述最佳行驶轨迹包含最佳转弯半径和最佳转弯速度;

[0009] 步骤2、根据所述冲突区域和第一类预期因素确定所述交叉口专用道控制区范围

距离,进而确定交叉口控制区域,所述第一类预期因素包括预期车辆加速度及允许最大车辆数;

[0010] 步骤3、基于前述步骤中获得的所述参数以及所述交叉口的协同控制逻辑类型生成交叉口控制逻辑算法;

[0011] 步骤4、实时采集在所述交叉口的各方向的无人驾驶公交的通行需求,所述通行需求包括无人驾驶公交车辆的专用相位起始时间、待通行车辆的数量、方向、速度和位置;

[0012] 步骤5、根据采集到的所述通行需求,利用所述交叉口控制逻辑算法计算所述交叉口的交叉口控制逻辑;

[0013] 步骤6、依据计算得到的所述交叉口控制逻辑协同控制在所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆,以协同控制使其分别以其最佳行驶轨迹通过所述交叉口。

[0014] 其中,根据本发明的一些实施方式,步骤1中可由所述最佳行驶轨迹范围加上两侧安全距离形成无人驾驶公交的交叉口通行区。步骤2中可根据所述冲突区域、所述预期车辆加速度、交叉口专用相位最大允许时长所能放行的车辆数及车辆变道长度等因素确定所述交叉口专用道控制区的进口专用道和出口专用道的长度,进而确定交叉口专用道控制区,所述专用道控制区和所述交叉口通行区构成所述交叉口控制区域,所述专用相位指所述交叉口信号灯控制中专门分配给无人驾驶公交通行的相位,在所述专用相位放行期间,任何其它车辆和行人不得进入所述交叉口的所述交叉口控制区域,所述其它车辆指非无人驾驶公交车辆。

[0015] 根据本发明的一些实施方式,所述步骤1中的所述预期车辆速度为由转弯速度上限值和转弯速度下限值所限定的速度区间。

[0016] 根据本发明的一些实施方式,所述步骤1包括以下子步骤:

[0017] 子步骤1-1、根据所述预期道路行驶条件和所述预期车辆速度计算所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的转弯半径的区间和转弯速度的区间;

[0018] 子步骤1-2、计算各方向的无人驾驶公交在所述交叉口的冲突区域,进而计算每个方向轨迹上的冲突区域的总长度以及冲突区域的通过时间;

[0019] 子步骤1-3、在计算得到的各个方向的所述冲突区域通过时间的基础上,采用所述交叉口的各个方向的预期车流量比值进行加权汇总,形成总冲突区域通过时间;

[0020] 子步骤1-4、求解所述总冲突区域通过时间的极小值,进而确定所述极小值对应的所述交叉口的各方向的所述最佳行驶轨迹。

[0021] 根据本发明的一些实施方式,所述步骤2中依据以下公式(1)计算所述专用道控制区的最小长度,交叉口控制区域由交叉口通行区与专用道控制区构成,由于对特定交叉口而言,交叉口通行区已知,根据计算专用道控制区长度即可得到交叉口控制区域的最小范围。

$$[0022] \quad x_0 \geq \frac{1}{2} v_x \cdot \frac{v_x}{a_0} - L_0 = \frac{v_x^2}{2a_0} - L_0 \quad (1)$$

[0023] 上述公式(1)中, $x_0$ 为所述专用道控制区进口专用道部分的长度, $v_x$ 为所述转弯速度上限值, $a_0$ 为所述预期车辆加速度, $L_0$ 为进口道的停止线与最近的冲突区域的间距。

[0024] 根据本发明的一些实施方式,根据最大无人驾驶公交专用相位时长 $T_{\max}$ 计算专用道控制区长度上限值。如以下公式(2)

$$[0025] \quad x_0 \leq \left( T_{max} * v_x - \frac{v_x^2}{a_0} - \sum_{n=1}^{\alpha} \left( l_n - \frac{v_x^2}{2a_0} \right) \right) / a \quad (2)$$

[0026] 上述公式(2)中, $T_{max}$ 为交叉口可允许的最大无人公交专用相位时长, $a$ 为所述交叉口的进口道总数, $l_n$ 为第 $n$ 个进口道至最远端出口道的距离。

[0027] 在最小值和最大值区间内,综合考虑其它因素,如路段过街横道线、公交站点等,给出一个合适的专用道控制区进口道部分的长度。

[0028] 可优选地,在不影响出口道车辆运行的情况下,交叉口专用道出口道处最大允许排队长度为 $S_1$ ,车辆按照最大允许车速由进口道变道至出口道所经过的距离长度为 $S_2$ , $S_1$ 、 $S_2$ 和 $x_0$ 中不长于进口道延伸长度的最大值为专用道控制区出口道部分的长度。

[0029] 根据本发明的一些实施方式,所述步骤3中,所述协同控制逻辑类型选自虚拟信号灯模式、交错通行模式或混合模式。

[0030] 根据本发明的一些实施方式,当所述步骤3中基于所述虚拟信号灯模式生成所述交叉口控制逻辑算法时,所述步骤3还包括根据所述交叉口的进口道总数、各个进口道至其对应的最远端的出口道的距离,计算所述虚拟信号灯模式的周期时长。

[0031] 根据本发明的一些实施方式,所述虚拟信号灯模式的周期时长通过以下公式(3)计算,

$$[0032] \quad T_{Imax} = \sum_{n=1}^{\alpha} \left[ \left( x_0 + l_n - \frac{v_x^2}{2a_0} \right) / v_x \right] + \frac{v_x}{a_0} \quad (3)$$

[0033] 上述公式(3)中, $T_{Imax}$ 为所述虚拟信号灯模式的周期时长的极大值(即为专用相位的时长), $a$ 为所述交叉口的进口道总数, $l_n$ 为第 $n$ 个进口道至最远端出口道的距离。

[0034] 根据本发明的一些实施方式,所述步骤4还包括:判断所述待通行车辆数是否达到预设的车辆数阈值,并在判断结果为是时执行所述步骤5和所述步骤6。

[0035] 根据本发明的一些实施方式,所述步骤6还包括:在所述交叉口的常规信号灯周期中增加无人驾驶公交专用相位,所述专用相位指在其开启时所述交叉口的交叉口通行区只有无人驾驶公交车通行而没有任何其它车辆和行人经过。

[0036] 在符合本领域常识的基础上,上述各优选条件,可任意组合,即得本发明各较佳实例。

[0037] 本发明的积极进步效果在于:

[0038] 根据本发明的用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法,可协同控制无人驾驶公交车安全穿越道路交叉口,有助于避免造成与其它车辆或行人的相互冲突、干扰,防止在道路交叉口的复杂环境中因无人驾驶公交车的引入而造成交通事故或者通行效率的降低。

## 附图说明

[0039] 图1为根据本发明优选实施例的用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法的流程图。

[0040] 图2为根据本发明优选实施例的用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法所针对的道路交叉口的通行控制示意图。

## 具体实施方式

[0041] 下面结合说明书附图,进一步对本发明的优选实施例进行详细描述,以下的描述为示例性的,并非对本发明的限制,任何的其它类似情形也都将落入本发明的保护范围之内。

[0042] 在以下的具体描述中,方向性的术语,例如“左”、“右”、“上”、“下”、“前”、“后”等,参考附图中描述的方向使用。本发明各实施例中的部件可被置于多种不同的方向,方向性的术语是用于示例的目的而非限制性的。

[0043] 参考图1-2所示,根据本发明优选实施方式的用于交叉口的无人驾驶公交车辆的协同控制方法,其包括如下步骤:

[0044] 步骤1、根据预期道路行驶条件和预期车辆速度计算所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的最佳行驶轨迹以及无人驾驶公交在所述交叉口的各方向的冲突区域2,其中所述最佳行驶轨迹包含最佳转弯半径和最佳转弯速度;

[0045] 步骤2、根据所述冲突区域2和预期车辆加速度确定所述交叉口的各方向的冲突区域2对应的专用道控制区4,其中所述专用道控制区4长度可定义为专用道控制区的较远处边界和路口的停止线之间的距离;

[0046] 步骤3、基于前述步骤中获得的所述参数以及所述交叉口的协同控制逻辑类型,生成交叉口控制逻辑算法;

[0047] 步骤4、实时采集所述交叉口的各方向的无人驾驶公交的通行需求,所述通行需求包括无人驾驶公交车辆的专用相位起始时间、待通行车辆数、方向、速度和位置等数据;

[0048] 步骤5、根据采集到的所述通行需求,利用所述交叉口控制逻辑算法计算所述交叉口的交叉口控制逻辑;

[0049] 步骤6、依据计算得到的所述交叉口控制逻辑,协同控制所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆,使其分别以其最佳行驶轨迹和速度通过所述交叉口。

[0050] 应理解的是,在本申请中所称道路条件或道路行驶条件,涉及相关无人驾驶公交车辆在相关道路上行驶的诸多特性中的至少部分,即道路条件或道路行驶条件在此也可包含预期的无人驾驶公交车辆的一些性能特性或性能参数,其中无人公交专用道1如图2中所示,而专用道控制区4可以理解为无人公交专用道1中需要借助本申请中所描述的特定控制方法进行特定控制的部分区域。

[0051] 还应理解的是,交叉口控制区域是由交叉口通行区3与专用道控制区4构成的,由于对特定交叉口而言,交叉口通行区已知,根据计算的专用道控制区长度和考虑特定因素即可确定交叉口控制区域。

[0052] 其中,所述步骤1中的所述预期车辆速度为由转弯速度上限值和转弯速度下限值所限定的速度区间。

[0053] 根据本发明的一些优选实施方式,所述步骤1包括以下子步骤:

[0054] 子步骤1-1、根据所述预期道路行驶条件和所述预期车辆速度计算所述交叉口的各方向的无人驾驶公交车辆的转弯半径的区间和转弯速度的区间;

[0055] 子步骤1-2、计算无人驾驶公交在所述交叉口的各方向的冲突区域2,进而计算每个方向轨迹上的冲突区域2的总长度以及冲突区域2的通过时间;

[0056] 子步骤1-3、在计算得到的各个方向的所述冲突区域2通过时间的基础上,采用所

述交叉口的各个方向的预期车流量比值进行加权汇总,形成总冲突区域2通过时间;

[0057] 子步骤1-4、求解所述总冲突区域2通过时间的极小值,进而确定所述极小值对应的所述交叉口的各方向的所述最佳行驶轨迹。

[0058] 其中,可根据道路条件和运行速度计算该交叉口各方向无人驾驶公交车的行驶轨迹中转弯半径的上下限。无人驾驶车辆转弯半径的上限值是由道路条件和运行速度综合确定。诸如,可采用以下公式(4)根据无人驾驶车辆最大转弯速度 $V_x$ 及乘客的舒适性,计算最大速度下的最大转弯半径 $R_1$ 为(考虑城市道路不存在道路超高):

$$[0059] \quad R_1 = \frac{V_x^2}{127\mu} \quad (4)$$

[0060] 其中, $\mu$ 为横向力系数,一般取值不大于0.2,无人公交的最大转弯速度一般取值不大于30km/h。根据道路转弯条件可知道路所能允许的最大转弯半径 $R_2$ ,因此无人车转弯半径的上限可为 $R_{\max} = \max(R_1, R_2)$ 。

[0061] 可选地,转弯半径的下限值由通过冲突区域2的时间确定。转弯车辆冲突区域2的长度与相交道路夹角、道路尺寸及转弯半径相关,在道路条件已知的情况下,某个转向与其它方向的冲突区域2总长度 $L_c \propto R$ ,通过冲突区域2的总时间可记为, $T_c = \frac{L_c}{v} \propto \frac{R_{\min}}{v}$ 。相应地,

$$R_{\min} = \frac{V_{\min}^2}{127\mu} \quad \text{因此,若满足} T_c \text{最小,则存在} R_{\min} > 0 \text{且} R_{\min} \leq R_{\max}, \text{此时,车速} V \geq V_{\min} \text{且} V \leq V_x。$$

[0062] 优选地,在子步骤1-2至1-4中,举例来说,在确定交叉口各方向转弯半径区间后,可根据如下交叉口各方向车流量比值 $k_1:k_2:k_3:\dots:k_n$ ( $n$ 为交叉口无人驾驶公交方向总数),以该车流量比值作为加权项,计算交叉口各方向综合通过冲突区域2的时间长度,记为 $T_{c\text{综合}} = \sum_1^n k \cdot T_c$ 。则最佳转弯半径为 $T_{c\text{综合}}$ 最小时的各方向轨迹。由于在确定形态的交叉口中 $T_{c\text{综合}}$ 的函数式已知,因此,通过计算其取值范围内的函数单调性即可求解极值,保证在合理条件下,交叉口各方向车流通过冲突区域2的综合时间最短。

[0063] 根据本发明的一些优选实施方式,所述步骤2中依据以下公式(1)计算所述专用道控制区最小距离,

$$[0064] \quad x_0 \geq \frac{1}{2} v_x \cdot \frac{v_x}{a_0} - L_0 = \frac{v_x^2}{2a_0} - L_0 \quad (1)$$

[0065] 上述公式(1)中, $x_0$ 为所述专用道控制区进口专用道部分的长度, $v_x$ 为所述转弯速度上限值, $a_0$ 为所述预期车辆加速度, $L_0$ 为进口道的停止线与最近的冲突区域2的间距。

[0066] 根据本发明的一些实施方式,根据最大无人驾驶公交专用相位时长 $T_{\max}$ 计算专用道控制区长度上限值。如以下公式(2)

$$[0067] \quad x_0 \leq \left( T_{\max} * v_x - \frac{v_x^2}{a_0} - \sum_{n=1}^{\alpha} \left( l_n - \frac{v_x^2}{2a_0} \right) \right) / a \quad (2)$$

[0068] 上述公式(2)中, $T_{\max}$ 为交叉口可允许的最大无人驾驶公交专用相位时长, $\alpha$ 为所述交叉口的进口道总数, $l_n$ 为第 $n$ 个进口道至最远端出口道的距离。

[0069] 在最小值和最大值区间内,综合考虑其它因素,如路段过街横道线、公交站点等,给出一个合适的专用道控制区进口道部分的长度。

[0070] 可优选地,在不影响出口道车辆运行的情况下,交叉口专用道出口道处最大允许

排队长度为 $S_1$ ,车辆按照最大允许车速由进口道变道至出口道所经过的距离长度为 $S_2$ , $S_1$ 、 $S_2$ 和 $x_0$ 中不长于进口道延伸长度的最大值为专用道控制区出口道部分的长度。

[0071] 优选地,所述步骤3中,所述协同控制逻辑类型选自虚拟信号灯模式、交错通行模式或混合模式,其中混合模式即前两种模式以分时或其它方式混合的控制模式。

[0072] 所述虚拟信号灯模式是指在无人驾驶公交车相位中虚拟出不同转向的信号灯相位供各方向的无人驾驶公交车通行,其信号灯周期时长即专用相位时长,其逻辑与常规信号控制相同,优点是各方向通行不存在冲突,容错率高,几乎可安全可靠地适用于所有平面道路交叉口。

[0073] 根据本发明的一些优选实施方式,可采用所述虚拟信号灯模式,在这种情形下,可根据所述交叉口的进口道车辆总数、各个进口道至其对应的最远端的出口道的距离,计算所述虚拟信号灯模式的周期时长。

[0074] 具体地,举例来说,虚拟信号灯模式的控制逻辑可如下设置:

[0075] ①通过路段车辆监测设备,采集进入交叉口专用道控制区内的无人驾驶公交车数量,当其总量达到 $Q_k$ 时,控制中心在常规信号灯中启动无人驾驶公交专用相位。

[0076] ②到达无人驾驶公交专用相位开启周期时,控制中心计算收集交叉口控制区域内所有无人驾驶公交车的通行需求。

[0077] ③根据通行需求进行配时优化,由于无人驾驶公交专用道在交叉口没有展宽段,因此配时逻辑为单向全部放行,即一次虚拟相位放行一个进口专用道的所有无人驾驶公交车。在运行时,可以利用对向无人驾驶公交专用车道进行左转分流,在虚拟信号灯模式下,所有左转车辆均可行驶至对向无人驾驶车道以提高运行效率。

[0078] ④虚拟信号灯模式在无人驾驶公交相位时长(等于虚拟信号灯周期时长)中,服务所有在初始时刻位于交叉口控制区域内的无人驾驶公交车。在极限情况下(车辆排队长度超过控制范围,且不存在左转车辆,不能利用对向车道),虚拟信号灯模式的周期时长如下式(3)

$$[0079] \quad T_{Imax} = \sum_{n=1}^{\alpha} [(x_0 + l_n - \frac{v_x^2}{2a_0})/v_x] + \frac{v_x}{a_0} \quad (3)$$

[0080] 其中, $\alpha$ 为交叉口进口道总数, $l_n$ 为第 $n$ 个进口道至对最远端出口道的距离。

[0081] 由于在交叉口控制区域内,无人驾驶公交车的加减速由控制中心统一控制,因此可以实现同一个进口专用道的车辆同时加减速通过交叉口。根据一些应用实例的测算,在 $30m \times 30m$ 的交叉口,若专用道控制区远端距离为停止线向后 $50m$ ,则极限虚拟信号灯周期时长约为 $41s$ 。

[0082] 根据本发明的一些可替代的实施方式,也可采用交错通行模式。交错通行模式是通过控制车辆到达冲突区域2的时间差,在同时放行信号控制的条件下各方向无人驾驶公交车交错通过交叉口。其优点是效率较高,随着专用道控制区的延长、加速距离增大,交错通行模式可保证车辆在进入冲突区域时的速度达到最大转弯速度,减少单车占用冲突区域2的时间。

[0083] 根据一些优选实施方式,其采用的交错模式的控制逻辑如下:

[0084] ①根据无人驾驶公交车专用道控制系统判断是否进入无人驾驶公交专用相位。

[0085] ②判断在最短阈值时间内有无无人驾驶公交车辆到达交叉口停止线,若不存在车辆到达停止线,则拒绝进入无人驾驶公交车专用相位,若存在车辆到达停止线,则进入专用相位,且服务车辆数为进入专用道控制区的所有无人驾驶公交车辆。

[0086] ③判断接受无人驾驶公交相位后,控制中心计算自由流下每辆车进入其轨迹中冲突区域2的时间段,构建所有冲突区域2的车辆占位时间矩阵,同时对每个进口专用道的车辆进行依次编码。识别矩阵中出现的最早一次占位重合,判断重合车辆的优先权,优先权高的车辆速度维持不变,优先权低的车辆启动时间延后,延后的时间为占位重合的时间,同时编码靠后的车辆依次延后相同的启动时间。若该车辆或后续车辆在相位时刻在控制区域内速度不为0,则限制其加速度或控制其减速,同时判断后续编码车辆距其距离,若距离过小存在冲突,则依照相同逻辑限制加速或进行减速,依次类推。

[0087] ④完成一次占位重合调整后,系统进行再次构建所有冲突区域2的占位时间矩阵,并迭代调整,直至实现冲突矩阵M,M在任意时刻都不存在占位重合。控制中心中的记录器记录原始矩阵M'至M的每次调整状态,最终状态下的启动时间和加减速调整即为每辆车的控制策略,将其发送至车辆终端进行远程调控。

[0088] ⑤交错模式可以实现多方向车流混合穿插进入交叉口,且其与虚拟信号灯模式一样,同样可以利用对向专用车道增加进口流量,但是受限于利用对向专用车道进入交叉口可能与对向出交叉口车辆产生冲突,利用的时间会很有限,因此根据一些应用实例的测算,30m×30m控制范围为停止线向后退界50m的交叉口,在极限状况下,交错模式周期时长约为28s。

[0089] 根据本发明的一些优选实施方式,步骤4中可收集无人驾驶公交车的数量、方向、速度和位置等数据,判断何时进入专用相位周期,具体判断方法可根据控制逻辑的不同而不同。

[0090] 优选地,步骤5中则根据交叉口控制逻辑计算无人驾驶公交专用相位时长,并传递给信号灯控制系统。相位时长的计算根据控制逻辑的不同而不同,具体计算可参见前文。信号的传递由于精度需要,对准确性和延时有较高要求。

[0091] 优选地,步骤6还可包括:车辆由控制中心根据控制逻辑计算错时时间差后反馈给驾驶系统,最终实现在不同的控制逻辑下无人驾驶公交车的交叉口协同控制。

[0092] 应理解的是,根据本发明的优选实施方式的上述协同控制方法尤其适于建立在最新的5G低延时通信技术和不低于L4级的无人驾驶技术之上,其设备载体可包括诸如车辆控制终端、云端协同控制中心、道路感知设备、低延时信号传输设备、存储器及智能信号控制设备等,是一种在现有技术条件下实现无人驾驶公交安全高效通过交叉口的车路协同控制解决方案。

[0093] 虽然以上描述了本发明的具体实施方式,但是本领域的技术人员应当理解,这些仅是举例说明,本发明的保护范围是由所附权利要求书限定的。本领域的技术人员在不背离本发明的原理和实质的前提下,可以对这些实施方式做出多种变更或修改,而且这些变更和修改均落入本发明的保护范围。

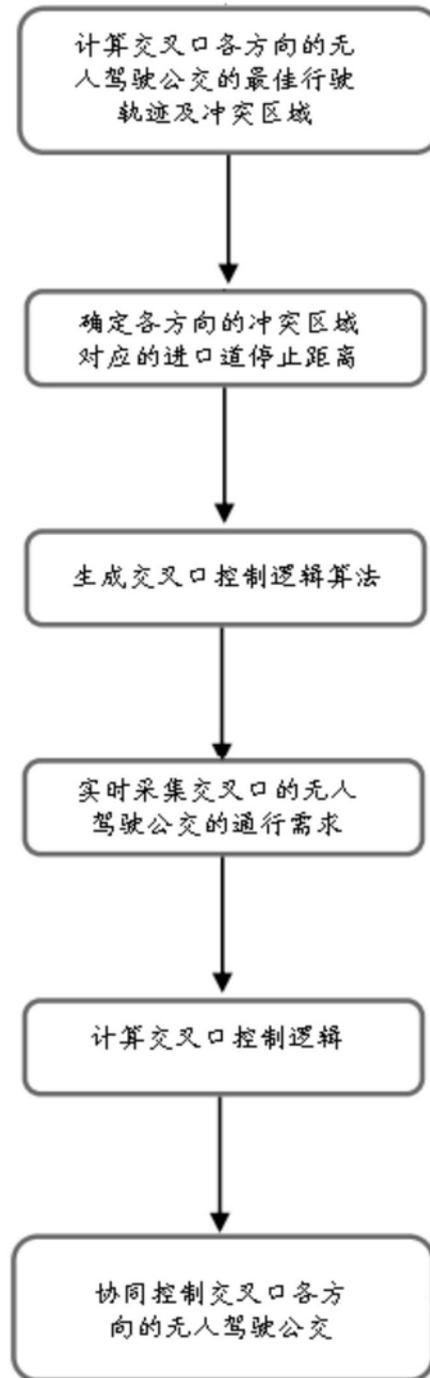


图1

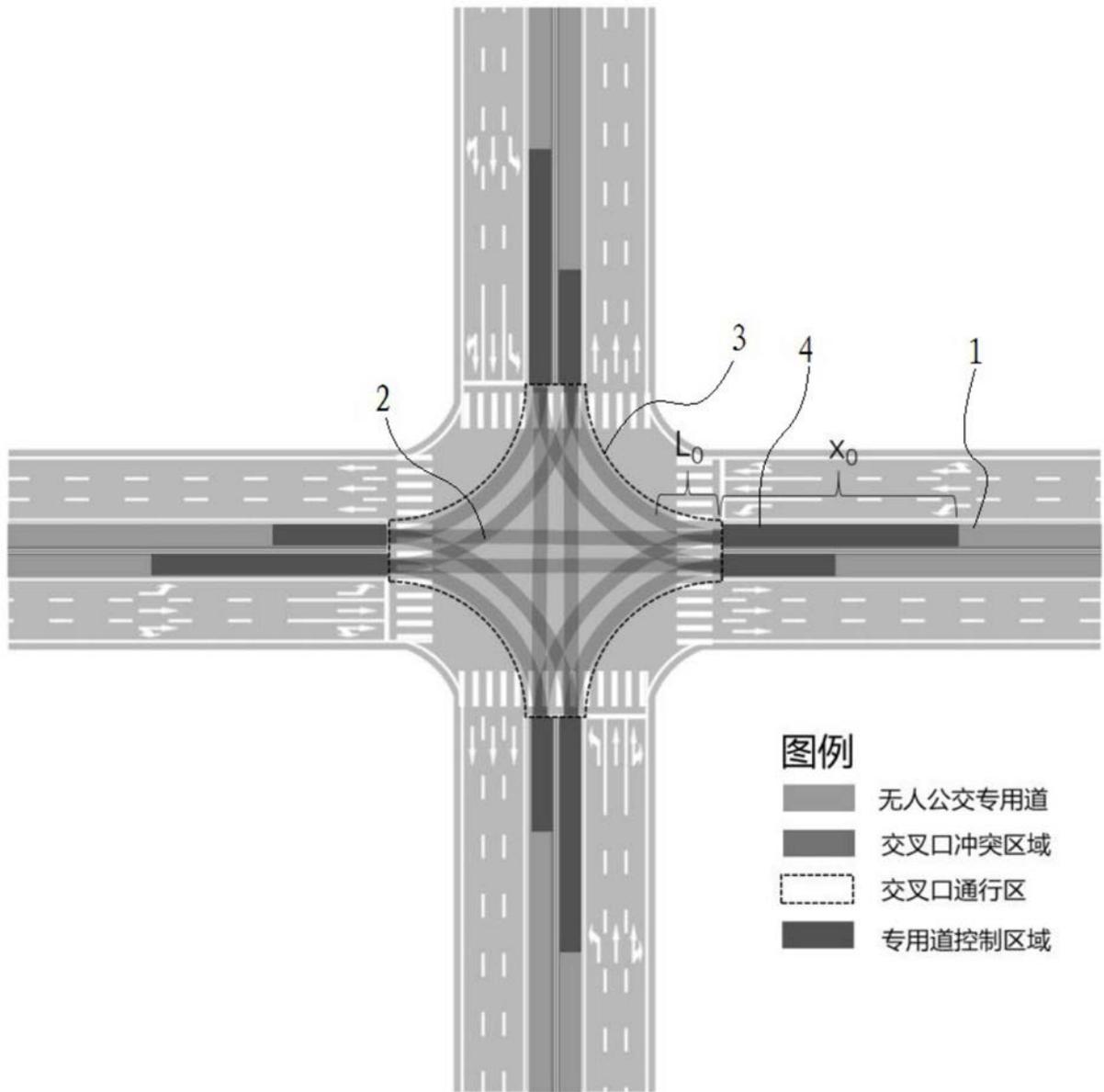


图2