



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117576930 B

(45) 授权公告日 2025. 04. 08

(21) 申请号 202311493147.4

(22) 申请日 2023.11.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 117576930 A

(43) 申请公布日 2024.02.20

(73) 专利权人 华南理工大学
地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号
专利权人 人工智能与数字经济广东省实验
室(广州)

(72) 发明人 卢凯 江书妍 白英洁 周凌霄
丁聪 林永杰

(74) 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245
专利代理师 李斌

(51) Int. Cl.

G08G 1/08 (2006.01)

G08G 1/083 (2006.01)

(56) 对比文件

徐广辉. 面向多路径车流的同步与协调控制
方法研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库
工程科技 II 辑》.2020,(第1期),C034-1199.

审查员 左进奎

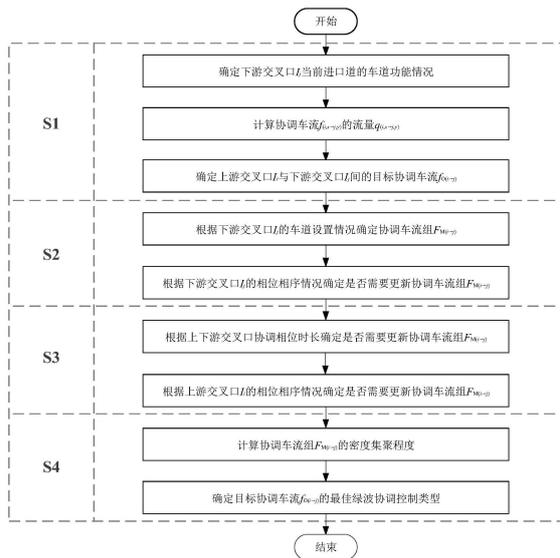
权利要求书4页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种面向协调车流组的绿波控制类型选取
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,包括以下步骤:1)根据实际协调需求确定上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 间的目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;2)基于下游交叉口 I_j 的车道设置及相位相序情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;3)基于上下游交叉口协调相位时长及上游交叉口 I_i 相位相序情况更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;4)计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度并确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型。根据不同流向车流的协调需求,考虑合用车道及相位相序的影响,给出目标协调车流的选取及协调车流组的更新法则,通过计算在上下游交叉口间距和流量影响下协调车流组的密度集聚程度,选取目标协调车流的最佳绿波协调控制类型。



1. 一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

S1、根据实际协调需求确定上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 间的目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;具体为:

S101、确定下游交叉口 I_j 当前进口道的车道功能情况;将车辆从上游交叉口 I_i 驶向下游交叉口 I_j 的下游交叉口 I_j 进口道定义为当前进口道,确定当前进口道存在的车道类型 m , m 取值为1-10时依次代表掉头车道、左转车道、直行车道、右转车道、左转掉头车道、直行掉头车道、直行左转车道、左转让转车道、直行右转车道和直左右车道;

S102、计算协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 的流量 $q_{(i, x \rightarrow j, y)}$;将从上游交叉口 I_i 的 x 流向驶入,并以 y 流向驶离下游交叉口 I_j 的受控车流定义为协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$, x 取值为1、2、3、4时依次代表协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 由上游交叉口 I_i 掉头、左转、直行、右转驶入下游交叉口 I_j , y 取值为1、2、3、4时依次代表协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 从当前进口道掉头、左转、直行、右转驶离下游交叉口 I_j ;

当上游交叉口 I_i 右转车流不受信号灯控制时,流量 $q_{(i, 4 \rightarrow j, y)}$ 记为0, $y=1, 2, 3, 4$;当下游交叉口 I_j 右转车流或掉头车流不受信号灯控制时,流量 $q_{(i, x \rightarrow j, 4)}$ 或 $q_{(i, x \rightarrow j, 1)}$ 记为0, $x=1, 2, 3, 4$;对于流量 $q_{(i, x \rightarrow j, y)}$,当 y 取值为1、2、3、4时依次满足下式:

$$q_{(i, x \rightarrow j, 1)} = q_{1(i, x \rightarrow j, 1)} + q_{5(i, x \rightarrow j, 1)} + q_{6(i, x \rightarrow j, 1)} \quad (1)$$

$$q_{(i, x \rightarrow j, 2)} = q_{2(i, x \rightarrow j, 2)} + q_{5(i, x \rightarrow j, 2)} + q_{7(i, x \rightarrow j, 2)} + q_{8(i, x \rightarrow j, 2)} + q_{10(i, x \rightarrow j, 2)} \quad (2)$$

$$q_{(i, x \rightarrow j, 3)} = q_{3(i, x \rightarrow j, 3)} + q_{6(i, x \rightarrow j, 3)} + q_{7(i, x \rightarrow j, 3)} + q_{9(i, x \rightarrow j, 3)} + q_{10(i, x \rightarrow j, 3)} \quad (3)$$

$$q_{(i, x \rightarrow j, 4)} = q_{4(i, x \rightarrow j, 4)} + q_{8(i, x \rightarrow j, 4)} + q_{9(i, x \rightarrow j, 4)} + q_{10(i, x \rightarrow j, 4)} \quad (4)$$

式中, $q_{m(i, x \rightarrow j, y)}$, $m=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ 为从上游交叉口 I_i 的 x 流向驶入,经由下游交叉口 I_j 的车道类型 m ,以 y 流向驶离下游交叉口 I_j 的车流流量;

S103、根据不同行驶方向的协调控制需求与实际交通流量确定上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 间的目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;

仅考虑直行车流运行效益的情况下,直接选定直行车流 $f_{(i, 3 \rightarrow j, 3)}$ 为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;在考虑转弯车流运行效益的情况下,可以根据不同流向车流的实际交通流量选定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$,将受控协调车流中流量 $q_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 最大的协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 选定为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;

S2、基于下游交叉口 I_j 的车道设置及相位相序情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;

S3、基于上下游交叉口协调相位时长及上游交叉口 I_i 相位相序情况更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;

S4、计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度并确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型。

2. 根据权利要求1所述的一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,其特征在于:步骤S2中,所述基于下游交叉口 I_j 的车道设置及相位相序情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,具体为:

S201、根据下游交叉口 I_j 的车道设置情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;定义流向U来记录目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在上游交叉口 I_i 的驶离流向,定义流向D来记录目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在下游交叉口 I_j 的驶离流向,定义流向D'来记录与目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在下游交叉口 I_j 使用合用车道的其他流向;若目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 经过下游交叉口 I_j 流向D和流向D'的合用车道,

则目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 和协调车流 $f_{(i, U \rightarrow j, D')}$ 具备相同的驶入驶出时空特性;此时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 和协调车流 $f_{(i, U \rightarrow j, D')}$;若目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 不经过下游交叉口 I_j 的合用车道,则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 仅为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;

S202、根据下游交叉口 I_j 的相位相序情况确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;定义流向D"来记录与目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在下游交叉口 I_j 同时放行的其他流向;若在下游交叉口 I_j 的相位相序中,存在合用相位同时放行流向D和流向D"的车流,则目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 和协调车流 $f_{(i, U \rightarrow j, D')}$ 具备相同的驶入驶出时空特性;此时,确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 是否已经包含协调车流 $f_{(i, U \rightarrow j, D')}$,若未包含则将协调车流 $f_{(i, U \rightarrow j, D')}$ 纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新,否则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变;若在下游交叉口 I_j 的相位相序中,不存在合用相位同时放行流向D和其它流向的车流,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变。

3. 根据权利要求1所述的一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,其特征在于:步骤S3中,所述基于上下游交叉口协调相位时长及上游交叉口 I_i 相位相序情况更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,具体为:

S301、根据上下游交叉口协调相位时长确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;将目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 通过上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 的信号控制相位依次定义为上游协调相位 P_i 与下游协调相位 P_j ,进而确定上游协调相位绿灯时长 T_i 与下游协调相位绿灯时长 T_j ;确定上游协调相位绿灯时长 T_i 与下游协调相位绿灯时长 T_j 之间的关系,若下游协调相位绿灯时长 T_j 小于上游协调相位绿灯时长 T_i ,优先考虑目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的运行效益,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变,转至S4;若下游协调相位绿灯时长 T_j 大于上游协调相位绿灯时长 T_i ,转至S302;

S302、根据上游交叉口 I_i 的相位相序情况确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;若存在其他相位与上游协调相位 P_i 相邻,定义流向U'来记录对应相位在上游交叉口 I_i 的驶离流向;此时,结合流量 $q_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,否则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变,转至S4;

设置流量系数阈值 $K_q, 0 \leq K_q \leq 1$;若流量 $q_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 大于等于流量 $q_{(i, U \rightarrow j, D)}$ 与流量系数阈值 K_q 的乘积,则将协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新,否则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变;

如果协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 被纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,且目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 经过下游交叉口 I_j 流向D和流向D'的合用车道,则应将协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D')}$ 一并纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新;

如果协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 被纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,且下游交叉口 I_j 的相位相序中,存在合用相位同时放行流向D和流向D"的车流,则应确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 是否已经包含协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D')}$,若未包含则将协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D')}$ 一并纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新,若包含则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变。

4. 根据权利要求1所述的一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,其特征在于:步骤S4中,所述计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度并确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型,具体为:

S401、计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度;将协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 通过当前进口道的第 p 辆车记为车辆 V_p ,计算车辆 V_p 在当前进口道停车线的理想到达时刻 T_{Ip} ;如果车辆 V_p 在当

前进口道未停车,则理想到达时刻 T_{Ip} 为车辆 V_p 到达停车线的时刻点;如果车辆 V_p 在当前进口道停车,则以车辆 V_p 在当前进口道的第一个停车点作为基准点计算车辆 V_p 的理想到达时刻 T_{Ip} ;将车辆 V_p 第一个停车点到停车线的距离记为 D_p ,将当前进口道上游出口路段的平均车辆行驶速度记为 v ,此时理想到达时刻 T_{Ip} 满足下式:

$$T_{Ip} = T_{Sp} + D_p / v \quad (5)$$

式中, T_{Sp} 为车辆 V_p 在当前进口道第一次停车的时刻点;

将上游交叉口 I_i 的信号周期记为 C ,将所获取数据时间段内车辆 V_p 的理想到达时刻 T_{Ip} 转换到信号周期 C 中,称为第一观测周期,第一观测周期内车辆 V_p 经过转换后的调整到达时刻 T_{Cp} 的取值范围为 $[0, C)$;此时,第一观测时刻 T_{Cp} 满足下式:

$$T_{Cp} = T_{Ip} - \lfloor T_{Ip} / C \rfloor \times C \quad (6)$$

式中, $\lfloor \quad \rfloor$ 为向下取整运算符;

为了连续描述车辆到达聚集时间段,将第一观测周期内所有的第一观测时刻 T_{Cp} 增加一个信号周期 C ,生成第二观测周期;第二观测周期中车辆 V_p 的第二观测时刻 $T_{C'p}$ 满足下式:

$$T_{C'p} = T_{Cp} + C \quad (7)$$

确定第一观测周期和第二观测周期的到达时间间隔 $t_A = [0, 2C)$,设置初始等分阈值 K_T , $K_T = 4N_T$, N_T 为正整数;将到达时间间隔 t_A 划分为 K_T 等分,将任意第 i 个到达时间间隔定义为 t_{Ai} ,到达时间间隔 t_{Ai} 的起始时刻定义为 T_{Ai} ,结束时刻定义为 T'_{Ai} ,到达时间间隔 t_{Ai} 内的车辆到达频数定义为 N_{Ai} ;依次统计不同到达时间间隔 t_{A1} 至 t_{AK_T} 内的车辆到达频数 N_{A1} 至 N_{AK_T} ;设置初始集聚阈值 K_A , $0.9 \leq K_A \leq 1.0$;基于公式(8)确定第一观测周期和第二观测周期内车辆到达最密集时间段,从到达时间间隔 t_{Aa} 持续至到达时间间隔 t_{Ab} ,且在一定时间段内车辆数之和为最大值:

$$\begin{aligned} & \min(b - a) \\ & \text{s.t.} \left(2 \times \sum_{i=a}^b N_{Ai} \right) / \sum_{i=1}^{K_T} N_{Ai} \geq K_A \\ & \sum_{i=a}^b N_{Ai} \geq \sum_{j=w}^{w+b-a} N_{Aj} \\ & 1 \leq a \leq b \leq K_T \\ & 1 \leq w \leq K_T \\ & a, b, w \in Z \end{aligned} \quad (8)$$

式中, a 为最密集时间段的起始到达时间间隔 t_{Aa} 的下标, b 为最密集时间段的结束到达时间间隔 t_{Ab} 的下标;

计算到达时间间隔 t_{Aa} 的起始时刻 T_{Aa} 和到达时间间隔 t_{Ab} 的结束时刻 T'_{Ab} 内,最小观测时刻记为 T_B ,最大观测时刻记为 T'_B ,确定目标到达时间间隔 $t_B = [T_B, T'_B)$;设置等分阈值 K'_T , $K'_T = 3N'_T$, N'_T 为正整数;将目标到达时间间隔 t_B 划分为 K'_T 等分,将任意第 i 个目标到达时间间隔定义为 t_{Bi} ,目标到达时间间隔 t_{Bi} 内的车辆到达频数定义为 N_{Bi} ;依次统计不同目标到达时间间隔 t_{B1} 至 $t_{BK'_T}$ 内的车辆到达频数 N_{B1} 至 $N_{BK'_T}$;

S402、确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型;设置集聚阈值 K'_A , $0.5 < K'_A \leq 1$;

基于公式(9)确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 中车辆到达最密集时间段,从目标到达时间间隔 t_{Bn} 持续至目标到达时间间隔 t_{Bm} ,且在一定时间段内车辆数之和为最大值:

$$\begin{aligned}
 & \min(m-n) \\
 & \text{s.t. } \sum_{i=n}^m N_{Bi} / \sum_{i=1}^{K'_T} N_{Bi} \geq K'_A \\
 & \sum_{i=n}^m N_{Bi} \geq \sum_{j=l}^{l+m-n} N_{Bj} \\
 & A = \left\lceil \frac{n+m}{2N'_T} \right\rceil \\
 & 1 \leq n \leq m \leq K'_T \\
 & 1 \leq l \leq K'_T \\
 & n, m, l \in Z
 \end{aligned} \tag{9}$$

式中, A 为确定绿波协调控制类型的参数, n 为最密集时间段的起始目标到达时间间隔 t_{Bn} 的下标, m 为最密集时间段的结束目标到达时间间隔 t_{Bm} 的下标, $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整运算符。

5. 根据权利要求4所述的一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,其特征在于:步骤S402中,当参数 A 为1时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队首车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队首型绿波协调方式;当参数 A 为2时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队中车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队中型绿波协调方式;当参数 A 为3时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队尾车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队尾型绿波协调方式。

一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及交通信号控制技术领域,更具体的,涉及一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法。

背景技术

[0002] 目前,城市道路绿波协调设计方法大致可以分为图解法、数解法与模型法三类。根据绿波带协调对象的不同,可以将绿波协调方式分为队首型、队中型和队尾型三种,并分别针对这三种不同的绿波协调方式进行协调算法设计。但是,如何根据各向交通流量选择合适的绿波协调类型,相关研究甚少。

[0003] 对此,本发明将给出一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法。根据不同流向车流的协调需求,考虑合用车道及相位相序的影响,给出目标协调车流的选取及协调车流组的更新法则,通过计算在上下游交叉口间距和流量影响下协调车流组的密度集聚程度,选取目标协调车流的最佳绿波协调控制类型。

发明内容

[0004] 本发明主要目的在于提供一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,通过计算在上下游交叉口间距和流量影响下协调车流组的密度集聚程度,选取目标协调车流的最佳绿波协调控制类型。

[0005] 本发明提出的一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,所述方法包括以下步骤:

[0006] S1、根据实际协调需求确定上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 间的目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;

[0007] S2、基于下游交叉口 I_j 的车道设置及相位相序情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;

[0008] S3、基于上下游交叉口协调相位时长及上游交叉口 I_i 相位相序情况更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;

[0009] S4、计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度并确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型。

[0010] 作为优先的技术方案,步骤S1中,所述根据实际协调需求确定上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 间的目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$,具体为:

[0011] S101、确定下游交叉口 I_j 当前进口道的车道功能情况;将车辆从上游交叉口 I_i 驶向下游交叉口 I_j 的下游交叉口 I_j 进口道定义为当前进口道,确定当前进口道存在的车道类型 m , m 取值为1-10时依次代表掉头车道、左转车道、直行车道、右转车道、左转掉头车道、直行掉头车道、直行左转车道、左转右转车道、直行右转车道和直左右车道;

[0012] S102、计算协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 的流量 $q_{(i, x \rightarrow j, y)}$;将从上游交叉口 I_i 的 x 流向驶入,并以 y 流向驶离下游交叉口 I_j 的受控车流定义为协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$, x 取值为1、2、3、4时依次代表协调车流 $f_{(i, x \rightarrow j, y)}$ 由上游交叉口 I_i 掉头、左转、直行、右转驶入下游交叉口 I_j , y 取值为1、

2、3、4时依次代表协调车流 $f_{(i,x \rightarrow j,y)}$ 从当前进口道掉头、左转、直行、右转驶离下游交叉口 I_j ;

[0013] 当上游交叉口 I_i 右转车流不受信号灯控制时,流量 $q_{(i,4 \rightarrow j,y)}$ 记为0, $y=1,2,3,4$;当下游交叉口 I_j 右转车流或掉头车流不受信号灯控制时,流量 $q_{(i,x \rightarrow j,4)}$ 或 $q_{(i,x \rightarrow j,1)}$ 记为0, $x=1,2,3,4$;对于流量 $q_{(i,x \rightarrow j,y)}$,当 y 取值为1、2、3、4时依次满足下式:

$$[0014] \quad q_{(i,x \rightarrow j,1)} = q_{1(i,x \rightarrow j,1)} + q_{5(i,x \rightarrow j,1)} + q_{6(i,x \rightarrow j,1)} \quad (1)$$

$$[0015] \quad q_{(i,x \rightarrow j,2)} = q_{2(i,x \rightarrow j,2)} + q_{5(i,x \rightarrow j,2)} + q_{7(i,x \rightarrow j,2)} + q_{8(i,x \rightarrow j,2)} + q_{10(i,x \rightarrow j,2)} \quad (2)$$

$$[0016] \quad q_{(i,x \rightarrow j,3)} = q_{3(i,x \rightarrow j,3)} + q_{6(i,x \rightarrow j,3)} + q_{7(i,x \rightarrow j,3)} + q_{9(i,x \rightarrow j,3)} + q_{10(i,x \rightarrow j,3)} \quad (3)$$

$$[0017] \quad q_{(i,x \rightarrow j,4)} = q_{4(i,x \rightarrow j,4)} + q_{8(i,x \rightarrow j,4)} + q_{9(i,x \rightarrow j,4)} + q_{10(i,x \rightarrow j,4)} \quad (4)$$

[0018] 式中, $q_{m(i,x \rightarrow j,y)}$, $m=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10$ 为从上游交叉口 I_i 的 x 流向驶入,经由下游交叉口 I_j 的车道类型 m ,以 y 流向驶离下游交叉口 I_j 的车流流量;

[0019] S103、根据不同行驶方向的协调控制需求与实际交通流量确定上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 间的目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;

[0020] 仅考虑直行车流运行效益的情况下,直接选定直行车流 $f_{(i,3 \rightarrow j,3)}$ 为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;在考虑转弯车流运行效益的情况下,可以根据不同流向车流的实际交通流量选定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$,将受控协调车流中流量 $q_{(i,x \rightarrow j,y)}$ 最大的协调车流 $f_{(i,x \rightarrow j,y)}$ 选定为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 。

[0021] 作为优先的技术方案,步骤S2中,所述基于下游交叉口 I_j 的车道设置及相位相序情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,具体为:

[0022] S201、根据下游交叉口 I_j 的车道设置情况确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;定义流向U来记录目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在上游交叉口 I_i 的驶离流向,定义流向D来记录目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在下游交叉口 I_j 的驶离流向,定义流向D'来记录与目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在下游交叉口 I_j 使用合用车道的其他流向;若目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 经过下游交叉口 I_j 流向D和流向D'的合用车道,则目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 和协调车流 $f_{(i,U \rightarrow j,D')}$ 具备相同的驶入驶出时空特性;此时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 和协调车流 $f_{(i,U \rightarrow j,D')}$;若目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 不经过下游交叉口 I_j 的合用车道,则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 仅为目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$;

[0023] S202、根据下游交叉口 I_j 的相位相序情况确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;定义流向D''来记录与目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 在下游交叉口 I_j 同时放行的其他流向;若在下游交叉口 I_j 的相位相序中,存在合用相位同时放行流向D和流向D''的车流,则目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 和协调车流 $f_{(i,U \rightarrow j,D'')}$ 具备相同的驶入驶出时空特性;此时,确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 是否已经包含协调车流 $f_{(i,U \rightarrow j,D'')}$,若未包含则将协调车流 $f_{(i,U \rightarrow j,D'')}$ 纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新,否则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变;若在下游交叉口 I_j 的相位相序中,不存在合用相位同时放行流向D和其它流向的车流,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变。

[0024] 作为优先的技术方案,步骤S3中,所述基于上下游交叉口协调相位时长及上游交叉口 I_i 相位相序情况更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$,具体为:

[0025] S301、根据上下游交叉口协调相位时长确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$;将目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 通过上游交叉口 I_i 与下游交叉口 I_j 的信号控制相位依次定义为上游协调相位 P_i 与下游协调相位 P_j ,进而确定上游协调相位绿灯时长 T_i 与下游协调相位绿灯时长 T_j ;确定上游协调相位绿灯时长 T_i 与下游协调相位绿灯时长 T_j 之间的关系,若下游协调相位绿

灯时长 T_j 小于上游协调相位绿灯时长 T_i , 优先考虑目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的运行效益, 协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变, 转至S4; 若下游协调相位绿灯时长 T_j 大于上游协调相位绿灯时长 T_i , 转至S302;

[0026] S302、根据上游交叉口 I_i 的相位相序情况确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$; 若存在其他相位与上游协调相位 P_i 相邻, 定义流向 U' 来记录对应相位在上游交叉口 I_i 的驶离流向; 此时, 结合流量 $q_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$, 否则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变, 转至S4;

[0027] 设置流量系数阈值 $K_Q, 0 \leq K_Q \leq 1$; 若流量 $q_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 大于等于流量 $q_{(i, U \rightarrow j, D)}$ 与流量系数阈值 K_Q 的乘积, 则将协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新, 否则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变;

[0028] 如果协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 被纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$, 且目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 经过下游交叉口 I_j 流向D和流向D'的合用车道, 则应将协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D')}$ 一并纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新;

[0029] 如果协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D)}$ 被纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$, 且下游交叉口 I_j 的相位相序中, 存在合用相位同时放行流向D和流向D'的车流, 则应确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 是否已经包含协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D')}$, 若未包含则将协调车流 $f_{(i, U' \rightarrow j, D')}$ 一并纳入协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 进行协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的更新, 若包含则协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 保持不变。

[0030] 作为优先的技术方案, 步骤S4中, 所述计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度并确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型, 具体为:

[0031] S401、计算协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的密度集聚程度; 将协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 通过当前进口道的第 p 辆车记为车辆 V_p , 计算车辆 V_p 在当前进口道停车线的理想到达时刻 T_{Ip} ; 如果车辆 V_p 在当前进口道未停车, 则理想到达时刻 T_{Ip} 为车辆 V_p 到达停车线的时刻点; 如果车辆 V_p 在当前进口道停车, 则以车辆 V_p 在当前进口道的第一个停车点作为基准点计算车辆 V_p 的理想到达时刻 T_{Ip} ; 将车辆 V_p 第一个停车点到停车线的距离记为 D_p , 将当前进口道上游出口路段的平均车辆行驶速度记为 v , 此时理想到达时刻 T_{Ip} 满足下式:

$$[0032] \quad T_{Ip} = T_{Sp} + D_p / v \quad (5)$$

[0033] 式中, T_{Sp} 为车辆 V_p 在当前进口道第一次停车的时刻点;

[0034] 将上游交叉口 I_i 的信号周期记为 C , 将所获取数据时间段内车辆 V_p 的理想到达时刻 T_{Ip} 转换到信号周期 C 中, 称为第一观测周期, 第一观测周期内车辆 V_p 经过转换后的调整到达时刻 T_{Cp} 的取值范围为 $[0, C)$; 此时, 第一观测时刻 T_{Cp} 满足下式:

$$[0035] \quad T_{Cp} = T_{Ip} - \lfloor T_{Ip} / C \rfloor \times C \quad (6)$$

[0036] 式中, $\lfloor \quad \rfloor$ 为向下取整运算符;

[0037] 为了连续描述车辆到达聚集时间段, 将第一观测周期内所有的第一观测时刻 T_{Cp} 增加一个信号周期 C , 生成第二观测周期; 第二观测周期中车辆 V_p 的第二观测时刻 T'_{Cp} 满足下式:

$$[0038] \quad T'_{Cp} = T_{Cp} + C \quad (7)$$

[0039] 确定第一观测周期和第二观测周期的到达时间间隔 $t_A = [0, 2C)$, 设置初始等分阈值 $K_T, K_T = 4N_T, N_T$ 为正整数; 将到达时间间隔 t_A 划分为 K_T 等分, 将任意第 i 个到达时间间隔定

义为 t_{Ai} ,到达时间间隔 t_{Ai} 的起始时刻定义为 T_{Ai} ,结束时刻定义为 T'_{Ai} ,到达时间间隔 t_{Ai} 内的车辆到达频数定义为 N_{Ai} ;依次统计不同到达时间间隔 t_{A1} 至 t_{AK_T} 内的车辆到达频数 N_{A1} 至 N_{AK_T} ;

[0040] 设置初始集聚阈值 K_A , $0.9 \leq K_A \leq 1.0$;基于公式(8)确定第一观测周期和第二观测周期内车辆到达最密集时间段,从到达时间间隔 t_{Aa} 持续至到达时间间隔 t_{Ab} ,且在一定时间段内车辆数之和为最大值:

$$\begin{aligned}
 & \min(b-a) \\
 & \text{s.t.} \left(2 \times \sum_{i=a}^b N_{Ai} \right) / \sum_{i=1}^{K_T} N_{Ai} \geq K_A \\
 [0041] \quad & \sum_{i=a}^b N_{Ai} \geq \sum_{j=w}^{w+b-a} N_{Aj} \\
 & 1 \leq a \leq b \leq K_T \\
 & 1 \leq w \leq K_T \\
 & a, b, w \in Z
 \end{aligned} \tag{8}$$

[0042] 式中, a 为最密集时间段的起始到达时间间隔 t_{Aa} 的下标, b 为最密集时间段的结束到达时间间隔 t_{Ab} 的下标;

[0043] 计算到达时间间隔 t_{Aa} 的起始时刻 T_{Aa} 和到达时间间隔 t_{Ab} 的结束时刻 T'_{Ab} 内,最小观测时刻记为 T_B ,最大观测时刻记为 T'_B ,确定目标到达时间间隔 $t_B = [T_B, T'_B]$;设置等分阈值 K'_T , $K'_T = 3N'_T$, N'_T 为正整数;将目标到达时间间隔 t_B 划分为 K'_T 等分,将任意第 i 个目标到达时间间隔定义为 t_{Bi} ,目标到达时间间隔 t_{Bi} 内的车辆到达频数定义为 N_{Bi} ;依次统计不同目标到达时间间隔 t_{B1} 至 $t_{BK'_T}$ 内的车辆到达频数 N_{B1} 至 $N_{BK'_T}$;

[0044] S402、确定目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 的最佳绿波控制类型;设置集聚阈值 K'_A , $0.5 < K'_A \leq 1$;基于公式(9)确定协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 中车辆到达最密集时间段,从目标到达时间间隔 t_{Bn} 持续至目标到达时间间隔 t_{Bm} ,且在一定时间段内车辆数之和为最大值:

$$\begin{aligned}
 & \min(m-n) \\
 & \text{s.t.} \sum_{i=n}^m N_{Bi} / \sum_{i=1}^{K'_T} N_{Bi} \geq K'_A \\
 & \sum_{i=n}^m N_{Bi} \geq \sum_{j=l}^{l+m-n} N_{Bj} \\
 [0045] \quad & A = \left\lceil \frac{n+m}{2N'_T} \right\rceil \\
 & 1 \leq n \leq m \leq K'_T \\
 & 1 \leq l \leq K'_T \\
 & n, m, l \in Z
 \end{aligned} \tag{9}$$

[0046] 式中, A 为确定绿波协调控制类型的参数, n 为最密集时间段的起始目标到达时间间隔 t_{Bn} 的下标, m 为最密集时间段的结束目标到达时间间隔 t_{Bm} 的下标, $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整运算

符。

[0047] 作为优先的技术方案,步骤S402中,当参数A为1时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队首车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队首型绿波协调方式;当参数A为2时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队中车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队中型绿波协调方式;当参数A为3时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队尾车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队尾型绿波协调方式。

[0048] 与现有的技术相比,本发明的有益效果如下:

[0049] 1) 本发明给出了面向不同流向车流协调需求的目标协调车流选取方法,解决了城市交通信号绿波协调控制优化过程中的协调车流选取问题,从而为协调路径与协调路径链的选取提供了研究思路。

[0050] 2) 本发明给出了一种考虑上游交叉口及下游交叉口的合用车道及相位相序设置情况的协调车流组选取及更新法则,解决了在现有目标协调车流的运行特征分析中,缺乏考虑与其他车流间的时空关联特性的问题,从而为后续协调车流组的密度集聚情况计算奠定基础。

[0051] 3) 本发明给出了面向协调车流组密度集聚情况计算的目标协调车流最佳绿波控制类型选取方法,解决了现有研究缺乏清晰的绿波协调类型选取方法的问题,为选取目标协调车流的最佳绿波协调控制类型提供了技术依据。

附图说明

[0052] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例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。

[0053] 图1是本发明实施例一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法流程图;

[0054] 图2是本发明实施例所提当前进口道不同车道类型示意图;

[0055] 图3是本发明实施例的上下游交叉口结构及信号方案示意图。

具体实施方式

[0056] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请方案,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0057] 在本申请中提及“实施例”意味着,结合实施例描述的特定特征、结构或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例,也不是与其它实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员显式地和隐式地理解的是,本申请所描述的实施例可以与其它实施例相结合。

[0058] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做详细描述。

[0059] 选定佛山禅城区岭南大道北-绿景路交叉口作为上游交叉口 I_1 ($I_i, i=1$), 文华路-绿景路交叉口作为下游交叉口 I_2 ($I_j, j=2$), 交叉口结构及信号控制方案如图3所示。

[0060] 如图1所示,本实施例一种面向协调车流组的绿波控制类型选取方法,包括步骤以下:

[0061] 步骤S1、根据实际协调需求确定上游交叉口 I_1 与下游交叉口 I_2 间的目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$,具体步骤如下:

[0062] S101、确定下游交叉口 I_2 当前进口道的车道功能情况。将车辆从上游交叉口 I_1 驶向下游交叉口 I_2 的下游交叉口 I_2 进口道定义为当前进口道。确定当前进口道存在的车道类型 m , m 取值为1-10时依次代表掉头车道、左转车道、直行车道、右转车道、左转掉头车道、直行掉头车道、直行左转车道、左转右转车道、直行右转车道、直左右车道。当前进口道的具体情况如表1所示。

[0063] 表1当前进口道不同车道类型 m 下的车道数量

车道类型 m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
车道名称	掉头车道	左转车道	直行车道	右转车道	左转掉头车道	直行掉头车道	直行左转车道	左转弯车道	直行右转弯车道	直左右车道
车道数量	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0

[0065] S102、计算协调车流 $f_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 的流量 $q_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 。协调车流是指从上游交叉口 I_1 驶向下游交叉口 I_2 相关进出口道的需要进行协调设计的行驶车流。将从上游交叉口 I_1 的 x 流向驶入,并以 y 流向驶离下游交叉口 I_2 的受控车流定义为协调车流 $f_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 。 x 取值为1、2、3、4时依次代表协调车流 $f_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 由上游交叉口 I_1 掉头、左转、直行、右转驶入下游交叉口 I_2 , y 取值为1、2、3、4时依次代表协调车流 $f_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 从当前进口道掉头、左转、直行、右转驶离下游交叉口 I_2 。

[0066] 对于流量 $q_{(1,x\rightarrow 2,y)}$,当 y 取值为1、2、3、4时依次满足下式:

[0067] $q_{(1,x\rightarrow 2,1)} = q_{1(1,x\rightarrow 2,1)} + q_{5(1,x\rightarrow 2,1)} + q_{6(1,x\rightarrow 2,1)} \quad (1)$

[0068] $q_{(1,x\rightarrow 2,2)} = q_{2(1,x\rightarrow 2,2)} + q_{5(1,x\rightarrow 2,2)} + q_{7(1,x\rightarrow 2,2)} + q_{8(1,x\rightarrow 2,2)} + q_{10(1,x\rightarrow 2,2)} \quad (2)$

[0069] $q_{(1,x\rightarrow 2,3)} = q_{3(1,x\rightarrow 2,3)} + q_{6(1,x\rightarrow 2,3)} + q_{7(1,x\rightarrow 2,3)} + q_{9(1,x\rightarrow 2,3)} + q_{10(1,x\rightarrow 2,3)} \quad (3)$

[0070] $q_{(1,x\rightarrow 2,4)} = q_{4(1,x\rightarrow 2,4)} + q_{8(1,x\rightarrow 2,4)} + q_{9(1,x\rightarrow 2,4)} + q_{10(1,x\rightarrow 2,4)} \quad (4)$

[0071] 式中, $q_{m(1,x\rightarrow 2,y)}$, $m=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10$ 为从上游交叉口 I_1 的 x 流向驶入,经由下游交叉口 I_2 的车道类型 m ,以 y 流向驶离下游交叉口 I_2 的车流流量。下游交叉口 I_2 右转车流不受信号灯控制,流量 $q_{(1,x\rightarrow 2,4)}$, $x=1,2,3,4$ 记为0,经计算流量 $q_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 的情况如表2所示。

[0072] 表2流量 $q_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 计算表

流量(pcu/h)	流向 y								
	1		2		3		4		
[0073] 流向 x	1	$q_{(1,1\rightarrow 2,1)}$	-	$q_{(1,1\rightarrow 2,2)}$	-	$q_{(1,1\rightarrow 2,3)}$	-	$q_{(1,1\rightarrow 2,4)}$	-
	2	$q_{(1,2\rightarrow 2,1)}$	-	$q_{(1,2\rightarrow 2,2)}$	107	$q_{(1,2\rightarrow 2,3)}$	194	$q_{(1,2\rightarrow 2,4)}$	-
	3	$q_{(1,3\rightarrow 2,1)}$	-	$q_{(1,3\rightarrow 2,2)}$	136	$q_{(1,3\rightarrow 2,3)}$	295	$q_{(1,3\rightarrow 2,4)}$	-
	4	$q_{(1,4\rightarrow 2,1)}$	-	$q_{(1,4\rightarrow 2,2)}$	9	$q_{(1,4\rightarrow 2,3)}$	10	$q_{(1,4\rightarrow 2,4)}$	-

[0074] S103、根据不同行驶方向的协调控制需求与实际交通流量确定上游交叉口 I_1 与下游交叉口 I_2 间的目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 。

[0075] 若仅考虑直行车流运行效益,可以直接选定直行车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,3)}$ 为目标协调车流

$f_{0(1\rightarrow 2)}$ 。若考虑转弯车流运行效益,则可以根据不同流向车流的实际交通流量选定目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$,将受控协调车流中流量 $q_{(1,x\rightarrow 2,y)}$ 最大的协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,3)}$ 选定为目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 。在该案例中,两种不同协调需求场景下选定的目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 均为协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,3)}$,故选定协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,3)}$ 为目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 。

[0076] 步骤S2、基于下游交叉口 I_2 的车道设置及相位相序情况确定协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 。

[0077] S201、根据下游交叉口 I_2 的车道设置情况确定协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 。定义流向U来记录目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 在上游交叉口 I_1 的驶离流向,定义流向D来记录目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 在下游交叉口 I_2 的驶离流向,则 $U=3, D=3$ 。定义流向D'来记录与目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 在下游交叉口 I_2 使用合用车道的其他流向。目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 经过下游交叉口 I_2 的直行左转合用车道, $D'=2$,则目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 和协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,2)}$ 具备相同的驶入驶出时空特性。此时,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 为目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 和协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,2)}$,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}=f_{(1,3\rightarrow 2,3)} \cup f_{(1,3\rightarrow 2,2)}$ 。

[0078] S202、根据下游交叉口 I_2 的相位相序情况确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 。定义流向D''来记录与目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 在下游交叉口 I_2 同时放行的其他流向。在下游交叉口 I_2 的相位相序中,存在西进口直行左转合用相位同时放行目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 与协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,2)}$, $D''=2$,则目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 和协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,2)}$ 具备相同的驶入驶出时空特性。此时,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 已经包含协调车流 $f_{(1,3\rightarrow 2,2)}$,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 保持不变。

[0079] 步骤S3、基于上下游交叉口协调相位时长及上游交叉口 I_1 相位相序情况更新协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$,具体步骤如下:

[0080] S301、根据上下游交叉口协调相位时长确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 。将目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 通过上游交叉口 I_1 与下游交叉口 I_2 的信号控制相位依次定义为上游协调相位 P_1 与下游协调相位 P_2 ,进而确定上游协调相位绿灯时长 $T_1=29s$ 与下游协调相位绿灯时长 $T_2=42s$ 。确定上游协调相位绿灯时长 T_1 与下游协调相位绿灯时长 T_2 之间的关系,若下游协调相位绿灯时长 T_2 小于上游协调相位绿灯时长 T_1 ,优先考虑目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 的运行效益,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 保持不变,转至S4。若下游协调相位绿灯时长 T_2 大于上游协调相位绿灯时长 T_1 ,转至S302。此时,下游协调相位绿灯时长 T_2 大于上游协调相位绿灯时长 T_1 。

[0081] S302、根据上游交叉口 I_1 的相位相序情况确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 。存在其他相位与上游协调相位 P_1 相邻,定义流向U'来记录对应相位在上游交叉口 I_1 的驶离流向,此时, $U'=2$ 。结合流量 $q_{(1,2\rightarrow 2,3)}$ 确定是否需要更新协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 。

[0082] 设置流量系数阈值 $K_Q=0.6$ 。流量 $q_{(1,2\rightarrow 2,3)}=194$ 大于流量 $q_{(1,3\rightarrow 2,3)}$ 与流量系数阈值 K_Q 的乘积, $q_{(1,3\rightarrow 2,3)} \times K_Q=177$,将协调车流 $f_{(1,2\rightarrow 2,3)}$ 纳入协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 进行协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 的更新,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}=f_{(1,3\rightarrow 2,3)} \cup f_{(1,3\rightarrow 2,2)} \cup f_{(1,2\rightarrow 2,3)}$ 。

[0083] 协调车流 $f_{(1,2\rightarrow 2,3)}$ 被纳入协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$,且目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 经过下游交叉口 I_2 的直行左转合用车道,应将协调车流 $f_{(1,2\rightarrow 2,2)}$ 一并纳入协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 进行协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 的更新,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}=f_{(1,3\rightarrow 2,3)} \cup f_{(1,3\rightarrow 2,2)} \cup f_{(1,2\rightarrow 2,3)} \cup f_{(1,2\rightarrow 2,2)}$ 。

[0084] 协调车流 $f_{(1,2\rightarrow 2,3)}$ 被纳入协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$,且下游交叉口 I_2 的相位相序中,存在合用相位同时放行流向D和流向D''的车流,此时协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 已经包含协调车流 $f_{(1,2\rightarrow 2,2)}$,协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 保持不变。

[0085] 步骤S4、计算协调车流组 $F_{M(1\rightarrow 2)}$ 的密度集聚程度并确定目标协调车流 $f_{0(1\rightarrow 2)}$ 的最

佳绿波控制类型,具体步骤如下:

[0086] S401、计算协调车流组 $F_{M(1 \rightarrow 2)}$ 的密度集聚程度。将协调车流组 $F_{M(1 \rightarrow 2)}$ 通过当前进口道的第 p 辆车记为车辆 V_p 。计算车辆 V_p 在当前进口道停车线的理想到达时刻 T_{Ip} 。如果车辆 V_p 在当前进口道未停车,则理想到达时刻 T_{Ip} 为车辆 V_p 到达停车线的时刻点。如果车辆 V_p 在当前进口道停车,则以车辆 V_p 在当前进口道的第一个停车点作为基准点计算车辆 V_p 的理想到达时刻 T_{Ip} 。将车辆 V_p 第一个停车点到停车线的距离记为 D_p ,将当前进口道上游出口路段的平均车辆行驶速度记为 v ,此时理想到达时刻 T_{Ip} 满足下式:

$$[0087] \quad T_{Ip} = T_{Sp} + D_p / v \quad (5)$$

[0088] 式中, T_{Sp} 为车辆 V_p 在当前进口道第一次停车的时刻点。

[0089] 将上游交叉口 I_1 的信号周期记为 $C=160s$,将所获取数据时间段内车辆 V_p 的理想到达时刻 T_{Ip} 转换到信号周期 C 中,称为第一观测周期,第一观测周期内车辆 V_p 经过转换后的调整到达时刻 T_{Cp} 的取值范围为 $[0, C)$ 。此时,第一观测时刻 T_{Cp} 满足下式:

$$[0090] \quad T_{Cp} = T_{Ip} - \lfloor T_{Ip} / C \rfloor \times C \quad (6)$$

[0091] 式中, $\lfloor \quad \rfloor$ 为向下取整运算符。

[0092] 为了连续描述车辆到达聚集时间段,将第一观测周期内所有的第一观测时刻 T_{Cp} 增加一个信号周期 C ,生成第二观测周期。第二观测周期中车辆 V_p 的第二观测时刻 T'_{Cp} 满足下式:

$$[0093] \quad T'_{Cp} = T_{Cp} + C \quad (7)$$

[0094] 确定第一观测周期和第二观测周期的到达时间间隔 $t_A = [0, 2C)$,设置初始等分阈值 $K_T=24, N_T=6$ 。将到达时间间隔 t_A 划分为24等分,将任意第 i 个到达时间间隔定义为 t_{Ai} ,到达时间间隔 t_{Ai} 的起始时刻定义为 T_{Ai} ,结束时刻定义为 T'_{Ai} ,到达时间间隔 t_{Ai} 内的车辆到达频数定义为 N_{Ai} 。依次统计不同到达时间间隔 t_{A1} 至 t_{A24} 内的车辆到达频数 N_{A1} 至 N_{A24} 。

[0095] 表3车辆到达频数计算表

到达时间间隔	t_{A1}	t_{A2}	t_{A3}	t_{A4}	t_{A5}	t_{A6}	t_{A7}	t_{A8}	t_{A9}	t_{A10}	t_{A11}	t_{A12}
车辆到达频数	N_{A1}	N_{A2}	N_{A3}	N_{A4}	N_{A5}	N_{A6}	N_{A7}	N_{A8}	N_{A9}	N_{A10}	N_{A11}	N_{A12}
	0	120	142	62	229	137	7	0	0	0	0	0
到达时间间隔	t_{A13}	t_{A14}	t_{A15}	t_{A16}	t_{A17}	t_{A18}	t_{A19}	t_{A20}	t_{A21}	t_{A22}	t_{A23}	t_{A24}
车辆到达频数	N_{A13}	N_{A14}	N_{A15}	N_{A16}	N_{A17}	N_{A18}	N_{A19}	N_{A20}	N_{A21}	N_{A22}	N_{A23}	N_{A24}
	0	120	142	62	229	137	7	0	0	0	0	0

[0097] 设置初始集聚阈值 $K_A=0.99$ 。基于下面公式确定第一观测周期和第二观测周期内车辆到达最密集时间段,从到达时间间隔 t_{Aa} 持续至到达时间间隔 t_{Ab} ,且在一定时间段内车辆数之和为最大值:

$$\begin{aligned}
& \min(b-a) \\
& \text{s.t.} \left(2 \times \sum_{i=a}^b N_{Ai} \right) / \sum_{i=1}^{K_T} N_{Ai} \geq K_A \\
[0098] \quad & \sum_{i=a}^b N_{Ai} \geq \sum_{j=w}^{w+b-a} N_{Aj} \\
& 1 \leq a \leq b \leq K_T \\
& 1 \leq w \leq K_T \\
& a, b, w \in Z
\end{aligned} \tag{8}$$

[0099] 式中, a 为最密集时间段的起始到达时间间隔 t_{Aa} 的下标, b 为最密集时间段的结束到达时间间隔 t_{Ab} 的下标。

[0100] 经计算, 第一观测周期和第二观测周期内车辆到达最密集时间段从到达时间间隔 t_{A2} 持续至到达时间间隔 t_{A7} 。可得到达时间间隔 t_{A2} 的起始时刻 $T_{A2} = 13.33\text{s}$ 和到达时间间隔 t_{A7} 结束时刻 $T'_{A7} = 93.33\text{s}$, 最小观测时刻为 $T_B = 13.33\text{s}$, 最大观测时刻为 $T'_B = 93.33\text{s}$, 确定目标到达时间间隔 $t_B = [T_B, T'_B]$ 。设置等分阈值 $K'_T = 12, N'_T = 4$ 。将目标到达时间间隔 t_B 划分为 12 等分, 将任意第 i 个目标到达时间间隔定义为 t_{Bi} , 目标到达时间间隔 t_{Bi} 内的车辆到达频数定义为 N_{Bi} 。依次统计不同目标到达时间间隔 t_{B1} 至 t_{B12} 内的车辆到达频数 N_{B1} 至 N_{B12} 。

[0101] 表 4 车辆到达频数计算表

目标到达时间间隔	t_{B1}	t_{B2}	t_{B3}	t_{B4}	t_{B5}	t_{B6}	t_{B7}	t_{B8}	t_{B9}	t_{B10}	t_{B11}	t_{B12}
[0102] 车辆到达频数	N_{B1}	N_{B2}	N_{B3}	N_{B4}	N_{B5}	N_{B6}	N_{B7}	N_{B8}	N_{B9}	N_{B10}	N_{B11}	N_{B12}
	15	105	105	37	16	46	103	126	95	42	6	1

[0103] S402、确定目标协调车流 $f_{0(1 \rightarrow 2)}$ 的最佳绿波控制类型。设置集聚阈值 $K'_A = 0.7$ 。基于下面公式确定协调车流组 $F_{M(1 \rightarrow 2)}$ 中车辆到达最密集时间段, 从目标到达时间间隔 t_{Bn} 持续到目标到达时间间隔 t_{Bm} , 且在一定时间段内车辆数之和为最大值:

$$\begin{aligned}
& \min(m-n) \\
& \text{s.t.} \sum_{i=n}^m N_{Bi} / \sum_{i=1}^{K'_T} N_{Bi} \geq K'_A \\
& \sum_{i=n}^m N_{Bi} \geq \sum_{j=l}^{l+m-n} N_{Bj} \\
[0104] \quad & A = \left\lceil \frac{n+m}{2N'_T} \right\rceil \\
& 1 \leq n \leq m \leq K'_T \\
& 1 \leq l \leq K'_T \\
& n, m, l \in Z
\end{aligned} \tag{9}$$

[0105] 式中, A 为确定绿波协调控制类型的参数, n 为最密集时间段的起始目标到达时间间隔 t_{Bn} 的下标, m 为最密集时间段的结束目标到达时间间隔 t_{Bm} 的下标, $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整运算

符。

[0106] 当参数A为1时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队首车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队首型绿波协调方式;当参数A为2时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队中车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队中型绿波协调方式;当参数A为3时,协调车流组 $F_{M(i \rightarrow j)}$ 的队尾车流密度较大,目标协调车流 $f_{0(i \rightarrow j)}$ 应选择队尾型绿波协调方式。经计算, $n=2, m=8, A=2$,目标协调车流 $f_{0(1 \rightarrow 2)}$ 采用队中型绿波协调方式。

[0107] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

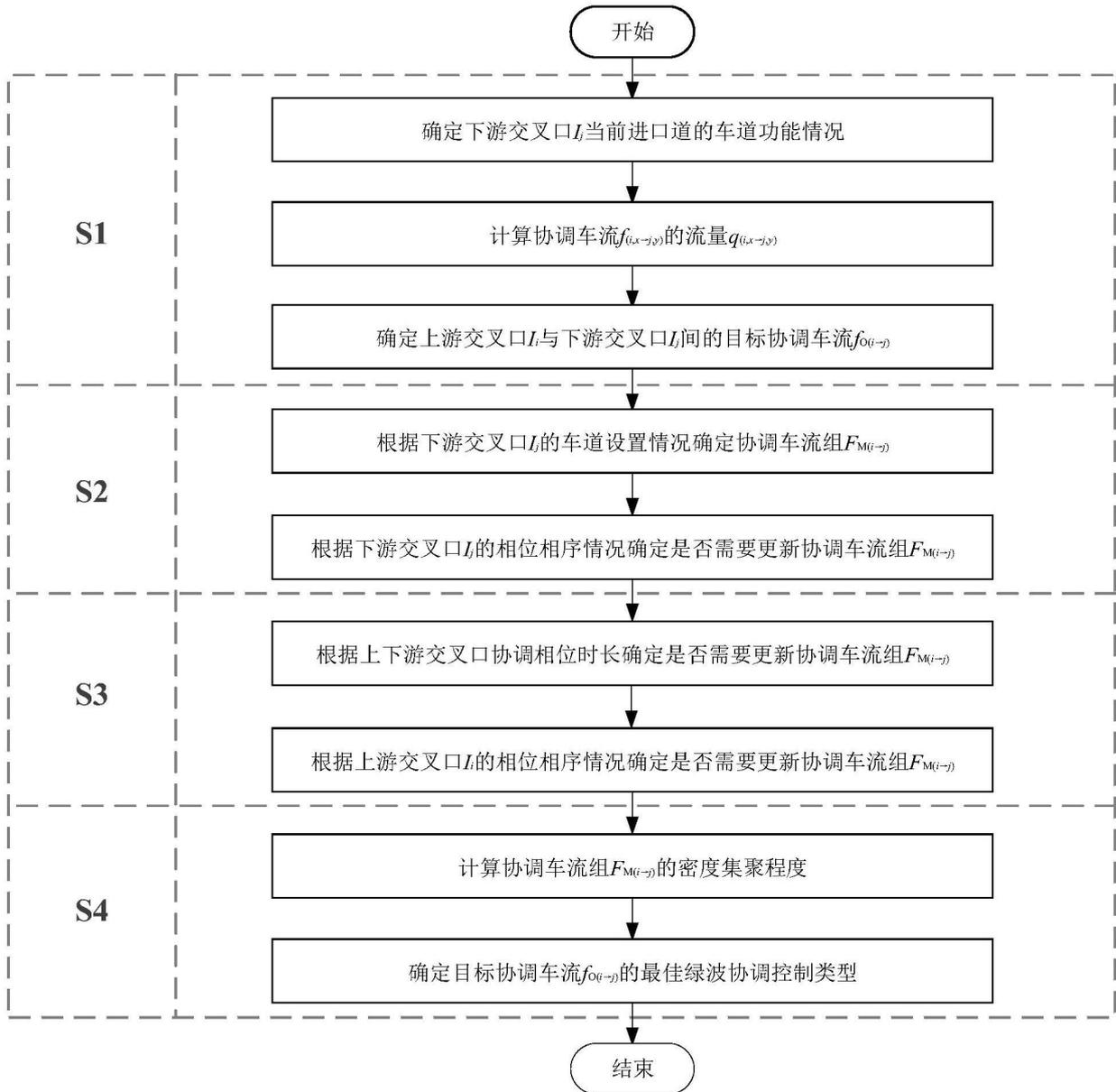


图1

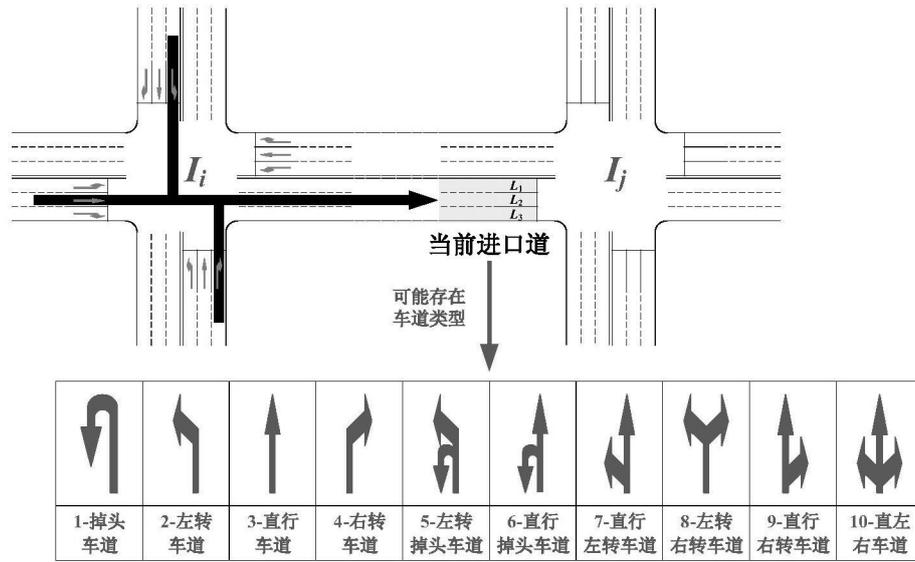


图2

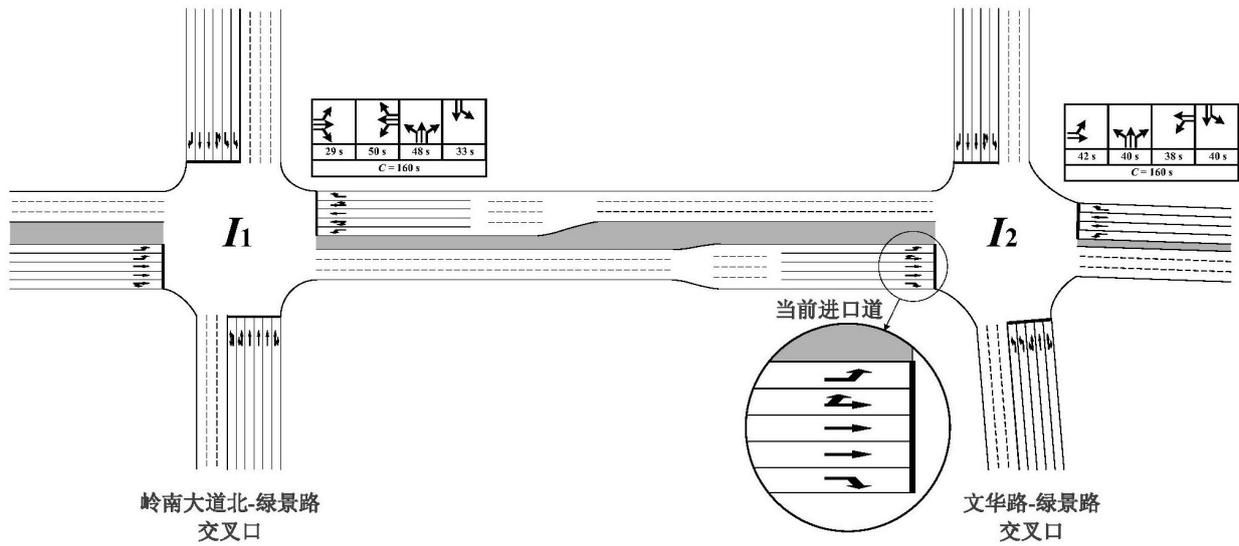


图3