



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112258861 A

(43) 申请公布日 2021.01.22

(21) 申请号 202011129793.9

(22) 申请日 2020.10.21

(71) 申请人 长沙理工大学

地址 410114 湖南省长沙市天心区万家丽南路2段960号

(72) 发明人 吴伟 刘洋 龙科军 郝威

(51) Int. Cl.

G08G 1/08 (2006.01)

G08G 1/081 (2006.01)

G08G 1/0967 (2006.01)

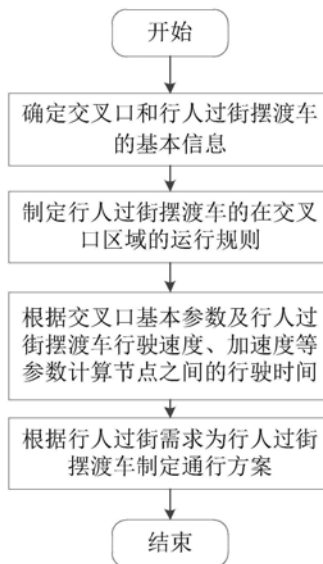
权利要求书5页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法

(57) 摘要

本发明公开了一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,提出一种自动驾驶行人过街摆渡车,在自动驾驶环境下交叉口各角落设置行人过街摆渡车的停靠点,有过街需求的行人通过乘坐摆渡车运送过街,为了控制行人过街摆渡车在交叉口内部通行,本发明面向行人过街摆渡车设置行驶通道,并通过数学模型,确定行人过街摆渡车在通道内行驶的路径内、外边界方程,根据路径的长度以及摆渡车的行驶速度、加速度确定停靠点之间的运行时间,确定上下客人数及进入交叉口时刻。本发明通过控制行人过街摆渡车在设置的通道内运行,使得所有过街行人的总延误最小。



1. 一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

步骤1:确定交叉口的基本信息,包括交叉口的尺寸、车道数及车道宽度,确定行人过街摆渡车的信息、包括:车辆大小、车辆的容量、车辆的运行参数,确定行人过街摆渡车的停靠位置的数量和大小,并规定行驶区域,设置行人过街摆渡车在交叉口区域的行驶通道;

步骤2:在交叉口内部建立直角坐标系,在步骤1确定的行驶通道下,通过确定路径的边界方程来确定停靠节点之间行人过街摆渡车的行驶路径方程;

步骤3:根据交叉口和行人摆渡车基本信息,计算行人过街摆渡车在各行驶路径上的行驶时间;

步骤4:根据行人过街需求量、行人过街摆渡车在各行驶路径上的行驶时间,确定每辆行人过街摆渡车在交叉口的具体控制方案。

2. 根据权利要求1所述一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,其特征在于,所述步骤1中,包含如下步骤:

步骤11:对交叉口进口车道、出口车道进行编号, l_i^O 表示O方向第i条进口车道,其中O表示交叉口的进口方向, $O = \{E, W, S, N\}$,其中E、W、S、N分别表示东、西、南、北四个方向, $i \in m$, L_j^D 表示D方向第j条出口车道,其中D表示交叉口的出口方向, $D = \{E, W, S, N\}$, $j \in m$,m表示O、D方向的车道总数,用 d_i^O 、 D_j^D 分别表示车道 l_i^O 和 L_j^D 的宽度,单位为米;

行人过街摆渡车的容量,用C表示,单位为人/辆;行人过街摆渡车开关门的时间用F表示,单位为秒,单位人数上车、下车时间分别用 δ_t 和 δ_t' 表示,单位为秒,行人摆渡车停靠点的长和宽分别用a和b表示,车辆的长和宽分别用 a' 和 b' 表示,单位均为米,行人摆渡车的理论最大行驶速度用v表示,单位为米每秒,摆渡车运行的加速度和减速度分别用 a^+ 和 a^- 表示,单位为米每二次方秒;

步骤12:行人过街摆渡车在交叉口的东北、东南、西北、西南四个角落停靠,分别用E-N、E-S、W-N、W-S表示,其中每个位置包含3个停靠点,行人过街摆渡车在停靠点出发或到达,每个停靠点最多可停靠1辆行人过街摆渡车;出发节点的集合用 O_p 表示,其中 $O_p = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$,终止节点集合的用 D_p 表示,其中 $D_p = \{13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24\}$,为避免行人过街摆渡车相互之间不必要的冲突,当行人过街摆渡车从1、4、7、10停靠点出发时,行人过街摆渡车只在1、4、7、10、13、14、15、16节点组成的白色区域运行;从2、5、8、11停靠点出发时,只在2、5、8、11、17、18、19、20节点组成的灰色区域运行;从3、6、9、12停靠点出发时,只在3、6、9、12、21、22、23、24节点组成的灰色区域运行,此外,行人过街摆渡车可以在同一个角落的三个停靠点之间相互运行;

所述步骤2中,包含如下步骤:

步骤21:以交叉口中心点为原点,在交叉口内部建立直角坐标系,根据各方向车道宽度确定坐标轴的刻度,规定行人摆渡车向x、y轴正方向行驶时,路径的左边边界为外边界,右边边界为内边界, ε 为二元变量,当边界为外边界时, $\varepsilon = 1$,当边界为内边界时, $\varepsilon = 0$;在东西方向上,节点1→节点13表示节点1到节点13的路径;节点1→节点13、节点4→节点16的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(1)所示:

$$y = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{1,15} + \varepsilon \cdot b, -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{1,13}) \leq x \leq \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{1,13} \quad (1)$$

$\xi_{p,q}$ 表示节点p到节点q路径上,节点p与最外侧车道的距离,其中 $p \in O_p, q \in D_q$,单位为米,

节点2→节点20、节点5→节点19的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(2)所示:

$$y = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{2,18} + \varepsilon \cdot b, -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{2,20}) \leq x \leq \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{2,20} \quad (2)$$

节点3→节点23、节点6→节点22的路径,在交叉口区域运行路径的下边界方程如公式(3)所示:

$$y = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{3,21} + \varepsilon \cdot b, -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{3,23}) \leq x \leq \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{3,23} \quad (3)$$

节点7→节点15、节点10→节点14的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(4)所示:

$$y = -[\sum_{j=1}^m D_j^E + \xi_{7,13} + (1 - \varepsilon) \cdot b], -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{7,15}) \leq x \leq \sum_{i=1}^m d_i^S + \xi_{7,15} \quad (4)$$

节点8→节点18、节点11→节点17的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(5)所示:

$$y = -[\sum_{j=1}^m D_j^E + \xi_{8,20} + (1 - \varepsilon) \cdot b], -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{8,20}) \leq x \leq \sum_{i=1}^m d_i^S + \xi_{8,20} \quad (5)$$

节点9→节点21、节点12→节点24的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(6)所示:

$$y = -[\sum_{j=1}^m D_j^E + \xi_{9,23} + (1 - \varepsilon) \cdot b], -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{9,21}) \leq x \leq \sum_{i=1}^m d_i^S + \xi_{9,21} \quad (6)$$

步骤22:在南北方向上,节点1→节点15、10→节点16的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(7)所示:

$$x = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{1,13} + \varepsilon \cdot a), -\sum_{i=1}^m d_i^W \leq y \leq \sum_{j=1}^m D_j^W \quad (7)$$

节点2→节点18、节点11→节点19的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(8)所示:

$$x = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{2,20} + \varepsilon \cdot a), -\sum_{i=1}^m d_i^W \leq y \leq \sum_{j=1}^m D_j^W \quad (8)$$

节点3→节点21、节点12→节点22的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(9)所示:

$$x = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{3,23} + \varepsilon \cdot a), -\sum_{i=1}^m d_i^W \leq y \leq \sum_{j=1}^m D_j^W \quad (9)$$

节点4→节点14、节点7→节点13的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(10)所示:

$$x = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{4,16} + (1 - \varepsilon) \cdot a, -\sum_{j=1}^m D_j^W \leq y \leq \sum_{i=1}^m d_i^E \quad (10)$$

节点5→节点17、节点8→节点20的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(11)所示:

$$x = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{5,19} + (1 - \varepsilon) \cdot a, -\sum_{j=1}^m D_j^W \leq y \leq \sum_{i=1}^m d_i^E \quad (11)$$

节点6→节点24、节点9→节点23的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(12)所示:

$$x = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{6,22} + (1 - \varepsilon) \cdot a, -\sum_{j=1}^m D_j^W \leq y \leq \sum_{i=1}^m d_i^E \quad (12)$$

步骤23:行人过街摆渡车可以在交叉口对角线行驶,节点1→节点14、节点7→节点16的

路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(13)、(14)所示:

$$x_1 = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{1,13}), y_1 = \sum_{j=1}^m D_j^W + \xi_{1,15} \quad (13)$$

$$x_2 = \sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{7,15}, y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{7,13}) \quad (14)$$

节点2→节点17、节点8→节点19的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(15)、(16)所示:

$$x_1 = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{2,20}), y_1 = \sum_{j=1}^m D_j^W + \xi_{2,18} \quad (15)$$

$$x_2 = \sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{8,18}, y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{8,20}) \quad (16)$$

节点3→节点24、节点9→节点22的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(17)、(18)所示:

$$x_1 = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{3,23}), y_1 = \sum_{j=1}^m D_j^W + \xi_{3,21} \quad (17)$$

$$x_2 = \sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{9,21}, y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{9,23}) \quad (18)$$

节点4→节点15、节点10→节点13的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(19)、(20)所示:

$$x_1 = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{4,16}, y_1 = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{4,14} \quad (19)$$

$$x_2 = -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{10,14}), y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^W + \xi_{10,16}) \quad (20)$$

节点5→节点18、节点11→节点20的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(21)、(22)所示:

$$x_1 = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{5,19}, y_1 = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{5,17} \quad (21)$$

$$x_2 = -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{11,17}), y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^W + \xi_{11,19}) \quad (22)$$

节点6→节点21、节点12→节点23的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(23)、(24)所示:

$$x_1 = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{6,22}, y_1 = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{6,24} \quad (23)$$

$$x_2 = -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{12,24}), y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^W + \xi_{12,22}) \quad (24)$$

通过点斜式方程确定路径边界方程,分别相应的中间变量 x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2 代入公式(25),可求得对应的路径边界方程:

$$y = \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)} \cdot (x - x_2) + y_2 - (1 - \varepsilon) \cdot b \quad (25)$$

式中, x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2 均为中间变量。

3. 根据权利要求1所述一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,其特征在于,所述步骤3中,包含如下步骤:

步骤31:从出发节点p到终止节点q的距离用 $L_{p,q}$ 表示,当行驶路径与坐标轴平行时,用公式(26)计算节点之间的距离:

$$L_{p,q} = \sum_{i=1}^m d_i^O + \sum_{j=1}^m D_j^D + 2 \cdot \xi_{p,q} \quad (26)$$

当 $p \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{13, 20, 23\}$ 或 $p \in \{4, 5, 6\}$, $q \in \{16, 19, 22\}$ 时,式(26)中0和D取N方向;当 $p \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{15, 18, 21\}$ 或 $p \in \{10, 11, 12\}$, $q \in \{16, 19, 22\}$ 时,公式(26)中0和D取W方向;当 $p \in \{4, 5, 6\}$, $q \in \{14, 17, 24\}$ 或 $p \in \{7, 8, 9\}$, $q \in \{13, 20, 23\}$ 时,公式(26)中0和D取E方向;当 $p \in \{10, 11, 12\}$, $q \in \{14, 17, 24\}$ 或 $p \in \{7, 8, 9\}$, $q \in \{15, 18, 21\}$ 时,公式(26)中0和

D取S方向；

行人过街摆渡车可以在交叉口对角线行驶,当路径为 $(W-N) \leftrightarrow (E-S)$ 时,即 $p \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{14, 17, 24\}$ 或 $p \in \{7, 8, 9\}$, $q \in \{16, 19, 22\}$ 时,通过公式(27)计算斜线距离:

$$L_{p,q} = \sqrt{L_{p,q'}^2 + L_{p',q}^2}, p' \in \{10, 11, 12\}, q' \in \{15, 18, 21\} \quad (27)$$

当路径为斜线 $(E-N) \leftrightarrow (W-S)$ 时,即 $p \in \{4, 5, 6\}$, $q \in \{15, 18, 21\}$ 或 $p \in \{10, 11, 12\}$, $q \in \{13, 20, 23\}$ 时,通过公式(28)计算斜线的距离:

$$L_{p,q} = \sqrt{L_{p,q'}^2 + L_{p',q}^2}, p' \in \{1, 2, 3\}, q' \in \{16, 19, 22\} \quad (28)$$

步骤32:当行人过街摆渡车出发节点p到终止节点q的距离 $L_{p,q}$ 较小时,行人过街摆渡车实际行驶的最大速度达不到预定的匀速行驶速度,这种情况下没有匀速行驶阶段,行人过街摆渡车在节点i和节点j之间的行驶距离 L_{ij} 由两部分组成,如公式(29)所示:

$$L_{p,q} = l_1 + l_2 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (29)$$

公式(29)中, l_1 表示匀加速行驶的距离,由公式(30)计算; l_2 表示匀减速行驶的距离,由公式(31)计算:

$$l_1 = 1/2 \cdot a^+ \cdot t_1^2 \quad (30)$$

$$l_2 = v^- \cdot t_2 - 1/2 \cdot a^- \cdot t_2^2 \quad (31)$$

公式(30)和(31)中, a^+ 、 a^- 分别表示行人过街摆渡车匀加速阶段、减速阶段的加速度大小,单位为米每二次方秒, t_1 表示匀加速阶段花费的时间, t_2 表示匀减速阶段花费的时间,单位为米每秒; v^- 表示行人摆渡车实际行驶的最大速度,单位为米每秒,由公式(32)计算:

$$v^- = a^+ \cdot t_1 \quad (32)$$

在没有匀速行驶的情况下,行人过街摆渡车在节点p和q之间行驶的时间用 $t_{p,q}$ 表示,由公式(33)计算:

$$t_{p,q} = t_1 + t_2 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (33)$$

步骤33:当有匀速行驶阶段时,行人过街摆渡车在节点p和q之间的行驶距离 $L_{p,q}$ 由三阶段组成,即匀加速阶段、匀速阶段和匀减速阶段,如公式(34)所示:

$$L_{p,q} = l_3 + l_4 + l_5 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (34)$$

公式中 l_3 、 l_4 和 l_5 分别表示匀加速阶段、匀速阶段和匀减速阶段行驶的距离,分别由公式(35)-(37)计算:

$$l_3 = 1/2 \cdot a^+ \cdot t_3^2 \quad (35)$$

$$l_4 = v \cdot t_4 \quad (36)$$

$$l_5 = v \cdot t_5 - 1/2 \cdot a^- \cdot t_5^2 \quad (37)$$

公式(35)-(37)中, t_3 、 t_4 和 t_5 分别表示行驶 l_3 、 l_4 和 l_5 距离所用的时间,单位为秒; v 表示规定的最大匀速,由公式(38)和(39)表示:

$$v = a^+ \cdot t_3 \quad (38)$$

$$v = a^- \cdot t_5 \quad (39)$$

在有匀速行驶阶段的情况下,行人过街摆渡车在节点p和q之间行驶的时间用 $t_{p,q}$ 表示,由公式(40)计算:

$$t_{p,q} = t_3 + t_4 + t_5 \quad \forall q \in O_p, p \in D_p \quad (40)$$

所述步骤4:根据行人过街需求量、行人过街摆渡车在各行驶路径上的行驶时间,确定每辆行人过街摆渡车在交叉口的具体行驶路径的方法,包括如下步骤:

步骤41:行人过街摆渡车从节点p到q的路径用 $r_{p,q}$ 表示, $r_{p,q}$ 为二元决策变量, $r_{p,q} \in \{0, 1\}$,当 $r_{p,q}=1$ 表示在该路径通行,否则未在该路径上通行, $r_{p,q}$ 满足公式(41)约束:

$$\sum_q r_{p,q} = 1 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (41)$$

行人过街摆渡车到达节点p的时刻用 T_p 表示,离开节点p的时刻用 t_p 表示,当行人过街摆渡车从到达节点p到离开节点p的时刻,由公式(42)计算:

$$t_p = T_p + F + d_q \cdot \delta_t + d'_q \cdot \delta'_t \quad (42)$$

公式(42)中F表示行人过街摆渡车开关门的时间, d_q 、 d'_q 分别表示在节点p处上客、下客人数, δ_t 、 δ'_t 分别表示单位人数上、下摆渡车的时间,单位为秒;

当行人过街摆渡车从节点p出发到达节点q,到达节点q的时刻由公式(43)计算:

$$T_p = t_p + c_{p,q} \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (43)$$

行人过街摆渡车离开节点p时的载客人数用 L_p 表示,当行人过街摆渡车从节点p出发到达节点q时,载客量 L_q 由公式(44)计算:

$$L_q = L_p + d_q - d'_q, \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (44)$$

考虑到行人过街摆渡车的容量大小, L_p 的上下限由公式(45)确定:

$$\max(0, d_p) \leq L_p \leq \min(C, C + d_p - d'_q) \quad \forall p \in O_p \quad (45)$$

C表示行人过街摆渡车的容量,单位为人/辆;

步骤42:以所有过街行人的总延误最小为目标建立目标函数,如公式(46)所示,公式中 T_D 表示过街行人的总延误:

$$T_D = \sum_p \sum_q (T_q - t_{p,q}) \cdot d_p, \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (46)。$$

一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法

技术领域

[0001] 本发明属于智能交通控制领域,涉及城市道路针对自动驾驶环境下行人过街的交通管控技术领域,更具体地说,涉及一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法。

背景技术

[0002] 随着5G通信、毫米波雷达及高精地图等技术的发展,为自动驾驶车辆在交叉口控制提供技术支持,自动驾驶技术是未来交通发展的趋势。自动驾驶技术的不断发展,城市平面交叉口的管理方法会随之发生改变。如IEEE Trans.Intelligent Vehicles(第3卷第2期,2018年1月)、Transportation Research Part C-Emerging Technologies(第103卷,2019年6月)、中国公路学报(第32卷第12期,2019年12月)等许多研究均表明,自动驾驶交叉口可无需信号灯控制,交通控制的对象将直接面向车辆,每辆车可以通过制定专属的通行方案,避免在交叉口发生冲突,相互穿插地通过交叉口,能较大程度降低车辆在交叉口的延误,极大程度上改变了现有的交叉口管理模式。

[0003] 在自动驾驶环境下,由于上述改变,交叉口不再为过街行人安排信号灯、设置行人过街相位确保行人过街安全。按现有的让行规则,过街行人与自动驾驶车辆之间的冲突很多,且冲突点较为随机,很难实现安全、有效地交叉口管理。为了规范交叉口过街行人的通行秩序,减少冲突点,保障通行安全,本发明通过在交叉口各角落设置行人过街摆渡车停靠点,在交叉口各角落放置行人过街摆渡车,在行人过街之前,将每个角落的行人先集中在行人过街摆渡车上,通过行人过街摆渡车统一运送到目的地,实现行人的安全过街。如何控制行人过街摆渡车在交叉口内部的通行,是本发明需要解决的问题。

[0004] 本发明通过建立行人过街摆渡车的行驶通道,当行人过街摆渡车从停靠点出发时,确定在交叉口区域运行路径的内外边界方程,根据摆渡车的速度、加速度以及路径的长度计算在路径上的运行时间,严格控制摆渡车按照此行驶方案在交叉口区域行驶,能最大限度的减少运行时的相互干扰,本发明的核心内容是制定行人过街摆渡车的行驶通道,并且控制行人过街摆渡车交叉口内部,在该通道内通行。

[0005] 经过现有技术的文献检索发现,目前针对交叉口行人过街的研究主要针对两个方面,①无信号交叉口行人过街与车辆冲突的预测和识别,确保行人过街安全;②在信号交叉口通过行人过街相位等的优化,挖掘交叉口的通行能力。目前针对自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车的设置方法的相关研究很少,没有在交叉口安排行人过街摆渡车、设置摆渡车行驶规则,并通过严格的数学方程,确定行驶方案的研究。

发明内容

[0006] 技术问题:针对现有研究的不足,本发明的目的是提供一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,从自动驾驶环境下交叉口行人过街安全性考虑,

在交叉口各角落设置行人过街摆渡车,并确定行驶通道及行驶方案,确保行人过街安全。

[0007] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明的方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1:确定交叉口的基本信息,包括交叉口的尺寸、车道数及车道宽度,确定行人过街摆渡车的信息、包括:车辆大小、车辆的容量、车辆的运行参数,确定行人过街摆渡车的停靠位置的数量和大小,并规定行驶区域,设置行人过街摆渡车在交叉口区域的行驶通道。

[0009] 步骤2:在交叉口内部建立直角坐标系,在步骤1确定的行驶通道下,通过确定路径的边界方程来确定停靠节点之间行人过街摆渡车的行驶路径方程;

[0010] 步骤3:根据交叉口和行人摆渡车基本信息,计算行人过街摆渡车在各行驶路径上的行驶时间;

[0011] 步骤4:根据行人过街需求量、行人过街摆渡车在各行驶路径上的行驶时间,确定每辆行人过街摆渡车在交叉口的具体控制方案;

[0012] 所述步骤1,包括如下步骤:

[0013] 步骤11:对交叉口进口车道、出口车道进行编号, l_i^O 表示O方向第i条进口车道,其中O表示交叉口的进口方向, $O = \{E, W, S, N\}$,其中E、W、S、N分别表示东、西、南、北四个方向, $i \in m$, L_j^D 表示D方向第j条出口车道,其中D表示交叉口的出口方向, $D = \{E, W, S, N\}$, $j \in m$,m表示O、D方向的车道总数,用 d_i^O 、 D_j^D 分别表示车道 l_i^O 和 L_j^D 的宽度,单位为米;

[0014] 行人过街摆渡车的容量,用C表示,单位为人/辆;行人过街摆渡车开关门的时间用F表示,单位为秒,单位人数上车、下车时间分别用 δ_t 和 δ_t' 表示,单位为秒,行人摆渡车停靠点的长和宽分别用a和b表示,车辆的长和宽分别用 a' 和 b' 表示,单位均为米,行人摆渡车的理论最大行驶速度用v表示,单位为米每秒,摆渡车运行的加速度和减速度分别用 a^+ 和 a^- 表示,单位为米每二次方秒;

[0015] 步骤12:行人过街摆渡车在交叉口的东北、东南、西北、西南四个角落停靠,分别用E-N、E-S、W-N、W-S表示,其中每个位置包含3个停靠点,行人过街摆渡车在停靠点出发或到达,每个停靠点最多可停靠1辆行人过街摆渡车。出发节点的集合用 O_p 表示,其中 $O_p = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$,终止节点集合的用 D_p 表示,其中 $D_p = \{13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24\}$,为避免行人过街摆渡车相互之间不必要的冲突,当行人过街摆渡车从1、4、7、10停靠点出发时,行人过街摆渡车只在1、4、7、10、13、14、15、16节点组成的白色区域运行;从2、5、8、11停靠点出发时,只在2、5、8、11、17、18、19、20节点组成的灰色区域运行;从3、6、9、12停靠点出发时,只在3、6、9、12、21、22、23、24节点组成的灰色区域运行,此外,行人过街摆渡车可以在同一个角落的三个停靠点之间相互运行;

[0016] 所述步骤2,在交叉口内部建立直角坐标系,在步骤1确定的行驶通道下,通过边界方程确定停靠节点之间行人过街摆渡车的行驶路径方程,包括如下步骤:

[0017] 步骤21:以交叉口中心点为原点,在交叉口内部建立直角坐标系,根据各方向车道宽度确定坐标轴的刻度。规定行人摆渡车向x、y轴正方向行驶时,路径的左边边界为外边界,右边边界为内边界。 ε 为二元变量,当边界为外边界时, $\varepsilon = 1$,当边界为内边界时, $\varepsilon = 0$ 。在东西方向上,1→13表示节点1到节点13的路径;节点1→节点13、节点4→节点16的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(1)所示:

$$[0018] \quad y = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{1,15} + \varepsilon \cdot b, -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{1,13}) \leq x \leq \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{1,13} \quad (1)$$

[0019] $\xi_{p,q}$ 表示节点p到节点q路径上,节点p与最外侧车道的距离,其中 $p \in O_p, q \in D_q$,单位为米。

[0020] 节点2→节点20、节点5→节点19的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(2)所示:

$$[0021] \quad y = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{2,18} + \varepsilon \cdot b, -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{2,20}) \leq x \leq \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{2,20} \quad (2)$$

[0022] 节点3→节点23、节点6→节点22的路径,在交叉口区域运行路径的下边界方程如公式(3)所示:

$$[0023] \quad y = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{3,21} + \varepsilon \cdot b, -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{3,23}) \leq x \leq \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{3,23} \quad (3)$$

[0024] 节点7→节点15、节点10→节点14的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(4)所示:

$$[0025] \quad y = -[\sum_{j=1}^m D_j^E + \xi_{7,13} + (1 - \varepsilon) \cdot b], -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{7,15}) \leq x \leq \sum_{i=1}^m d_i^S + \xi_{7,15} \quad (4)$$

[0026] 节点8→节点18、节点11→节点17的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(5)所示:

$$[0027] \quad y = -[\sum_{j=1}^m D_j^E + \xi_{8,20} + (1 - \varepsilon) \cdot b], -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{8,20}) \leq x \leq \sum_{i=1}^m d_i^S + \xi_{8,20} \quad (5)$$

[0028] 节点9→节点21、节点12→节点24的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(6)所示:

$$[0029] \quad y = -[\sum_{j=1}^m D_j^E + \xi_{9,23} + (1 - \varepsilon) \cdot b], -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{9,21}) \leq x \leq \sum_{i=1}^m d_i^S + \xi_{9,21} \quad (6)$$

[0030] 步骤22:在南北方向上,节点1→节点15、节点10→节点16的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(7)所示:

$$[0031] \quad x = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{1,13} + \varepsilon \cdot a), -\sum_{i=1}^m d_i^W \leq y \leq \sum_{j=1}^m D_j^W \quad (7)$$

[0032] 节点2→节点18、节点11→节点19的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(8)所示:

$$[0033] \quad x = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{2,20} + \varepsilon \cdot a), -\sum_{i=1}^m d_i^W \leq y \leq \sum_{j=1}^m D_j^W \quad (8)$$

[0034] 节点3→节点21、节点12→节点22的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(9)所示:

$$[0035] \quad x = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{3,23} + \varepsilon \cdot a), -\sum_{i=1}^m d_i^W \leq y \leq \sum_{j=1}^m D_j^W \quad (9)$$

[0036] 节点4→节点14、节点7→节点13的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(10)所示:

$$[0037] \quad x = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{4,16} + (1 - \varepsilon) \cdot a, -\sum_{j=1}^m D_j^W \leq y \leq \sum_{i=1}^m d_i^E \quad (10)$$

[0038] 节点5→节点17、节点8→节点20的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(11)所示:

$$[0039] \quad x = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{5,19} + (1 - \varepsilon) \cdot a, -\sum_{j=1}^m D_j^W \leq y \leq \sum_{i=1}^m d_i^E \quad (11)$$

[0040] 节点6→节点24、节点9→节点23的路径,在交叉口区域运行路径的边界方程如公式(12)所示:

$$[0041] \quad x = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{6,22} + (1 - \varepsilon) \cdot a, -\sum_{j=1}^m D_j^W \leq y \leq \sum_{i=1}^m d_i^E \quad (12)$$

[0042] 步骤23:行人过街摆渡车可以在交叉口对角线行驶,节点1→节点14、节点7→节点

16的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(13)、(14)所示:

$$[0043] \quad x_1 = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{1,13}), y_1 = \sum_{j=1}^m D_j^W + \xi_{1,15} \quad (13)$$

$$[0044] \quad x_2 = \sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{7,15}, y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{7,13}) \quad (14)$$

[0045] 节点2→节点17、节点8→节点19的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(15)、(16)所示:

$$[0046] \quad x_1 = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{2,20}), y_1 = \sum_{j=1}^m D_j^W + \xi_{2,18} \quad (15)$$

$$[0047] \quad x_2 = \sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{8,18}, y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{8,20}) \quad (16)$$

[0048] 节点3→节点24、节点9→节点22的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(17)、(18)所示:

$$[0049] \quad x_1 = -(\sum_{i=1}^m d_i^N + \xi_{3,23}), y_1 = \sum_{j=1}^m D_j^W + \xi_{3,21} \quad (17)$$

$$[0050] \quad x_2 = \sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{9,21}, y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{9,23}) \quad (18)$$

[0051] 节点4→节点15、节点10→节点13的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(19)、(20)所示:

$$[0052] \quad x_1 = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{4,16}, y_1 = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{4,14} \quad (19)$$

$$[0053] \quad x_2 = -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{10,14}), y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^W + \xi_{10,16}) \quad (20)$$

[0054] 节点5→节点18、节点11→节点20的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(21)、(22)所示:

$$[0055] \quad x_1 = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{5,19}, y_1 = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{5,17} \quad (21)$$

$$[0056] \quad x_2 = -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{11,17}), y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^W + \xi_{11,19}) \quad (22)$$

[0057] 节点6→节点21、节点12→节点23的路径,驶入点和驶出点的坐标分别如公式(23)、(24)所示:

$$[0058] \quad x_1 = \sum_{j=1}^m D_j^N + \xi_{6,22}, y_1 = \sum_{i=1}^m d_i^E + \xi_{6,24} \quad (23)$$

$$[0059] \quad x_2 = -(\sum_{j=1}^m D_j^S + \xi_{12,24}), y_2 = -(\sum_{i=1}^m d_i^W + \xi_{12,22}) \quad (24)$$

[0060] 通过点斜式方程确定路径边界方程,分别相应的中间变量 x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2 代入公式(25),可求得对应的路径边界方程:

$$[0061] \quad y = \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)} \cdot (x - x_2) + y_2 - (1 - \varepsilon) \cdot b \quad (25)$$

[0062] 式中, x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2 均为中间变量。

[0063] 所述步骤3,根据交叉口和行人摆渡车基本数据,计算行人过街摆渡车在交叉口内部的控制方案,包括如下步骤:

[0064] 步骤31:从出发节点 p 到终止节点 q 的距离用 $L_{p,q}$ 表示,当行驶路径与坐标轴平行时,用公式(26)计算节点之间的距离:

$$[0065] \quad L_{p,q} = \sum_{i=1}^m d_i^O + \sum_{j=1}^m D_j^D + 2 \cdot \xi_{p,q} \quad (26)$$

[0066] 当 $p \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{13, 20, 23\}$ 或 $p \in \{4, 5, 6\}$, $q \in \{16, 19, 22\}$ 时,式(26)中0和D取N方向;当 $p \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{15, 18, 21\}$ 或 $p \in \{10, 11, 12\}$, $q \in \{16, 19, 22\}$ 时,公式(26)中0和

D取W方向;当 $p \in \{4, 5, 6\}$, $q \in \{14, 17, 24\}$ 或 $p \in \{7, 8, 9\}$, $q \in \{13, 20, 23\}$ 时,公式(26)中O和D取E方向;当 $p \in \{10, 11, 12\}$, $q \in \{14, 17, 24\}$ 或 $p \in \{7, 8, 9\}$, $q \in \{15, 18, 21\}$ 时,公式(26)中O和D取S方向。

[0067] 行人过街摆渡车可以在交叉口对角线行驶,当路径为 $(W - N) \leftrightarrow (E - S)$ 时,即 $p \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{14, 17, 24\}$ 或 $p \in \{7, 8, 9\}$, $q \in \{16, 19, 22\}$ 时,通过公式(27)计算斜线距离:

$$[0068] \quad L_{p,q} = \sqrt{L_{p,q'}^2 + L_{p',q}^2}, p' \in \{10, 11, 12\}, q' \in \{15, 18, 21\} \quad (27)$$

[0069] 当路径为斜线 $(E - N) \leftrightarrow (W - S)$ 时,即 $p \in \{4, 5, 6\}$, $q \in \{15, 18, 21\}$ 或 $p \in \{10, 11, 12\}$, $q \in \{13, 20, 23\}$ 时,通过公式(28)计算斜线的距离:

$$[0070] \quad L_{p,q} = \sqrt{L_{p,q'}^2 + L_{p',q}^2}, p' \in \{1, 2, 3\}, q' \in \{16, 19, 22\} \quad (28)$$

[0071] 步骤32:当行人过街摆渡车出发节点p到终止节点q的距离 $L_{p,q}$ 较小时,行人过街摆渡车实际行驶的最大速度达不到预定的匀速行驶速度,这种情况下没有匀速行驶阶段,行人过街摆渡车在节点i和节点j之间的行驶距离 L_{ij} 由两部分组成,如公式(29)所示:

$$[0072] \quad L_{p,q} = l_1 + l_2 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (29)$$

[0073] 公式(29)中, l_1 表示匀加速行驶的距离,由公式(30)计算; l_2 表示匀减速行驶的距离,由公式(31)计算:

$$[0074] \quad l_1 = 1/2 \cdot a^+ \cdot t_1^2 \quad (30)$$

$$[0075] \quad l_2 = v^- \cdot t_2 - 1/2 \cdot a^- \cdot t_2^2 \quad (31)$$

[0076] 公式(30)和(31)中, a^+ 、 a^- 分别表示行人过街摆渡车匀加速阶段、减速阶段的加速度大小,单位为米每二次方秒, t_1 表示匀加速阶段花费的时间, t_2 表示匀减速阶段花费的时间,单位为米每秒; v^- 表示行人摆渡车实际行驶的最大速度,单位为米每秒,由公式(32)计算:

$$[0077] \quad v^- = a^+ \cdot t_1 \quad (32)$$

[0078] 在没有匀速行驶的情况下,行人过街摆渡车在节点p和q之间行驶的时间用 $t_{p,q}$ 表示,由公式(33)计算:

$$[0079] \quad t_{p,q} = t_1 + t_2 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (33)$$

[0080] 步骤33:当有匀速行驶阶段时,行人过街摆渡车在节点p和q之间的行驶距离 $L_{p,q}$ 由三阶段组成,即匀加速阶段、匀速阶段和匀减速阶段,如公式(34)所示:

$$[0081] \quad L_{p,q} = l_3 + l_4 + l_5 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (34)$$

[0082] 公式中 l_3 、 l_4 和 l_5 分别表示匀加速阶段、匀速阶段和匀减速阶段行驶的距离,分别由公式(35)–(37)计算:

$$[0083] \quad l_3 = 1/2 \cdot a^+ \cdot t_3^2 \quad (35)$$

$$[0084] \quad l_4 = v \cdot t_4 \quad (36)$$

$$[0085] \quad l_5 = v \cdot t_5 - 1/2 \cdot a^- \cdot t_5^2 \quad (37)$$

[0086] 公式(35)–(37)中, t_3 、 t_4 和 t_5 分别表示行驶 l_3 、 l_4 和 l_5 距离所用的时间,单位为秒; v 表示规定的最大匀速,由公式(38)和(39)表示:

$$[0087] \quad v = a^+ \cdot t_3 \quad (38)$$

$$[0088] \quad v = a^- \cdot t_5 \quad (39)$$

[0089] 在有匀速行驶阶段的情况下,行人过街摆渡车在节点p和q之间行驶的时间用 $t_{p,q}$ 表示,由公式(40)计算:

$$[0090] \quad t_{p,q} = t_3 + t_4 + t_5 \quad \forall q \in O_p, p \in D_p \quad (40)$$

[0091] 所述步骤4:根据行人过街需求量、行人过街摆渡车在各行驶路径上的行驶时间,确定每辆行人过街摆渡车在交叉口的具体行驶路径的方法,包括如下步骤:

[0092] 步骤41:行人过街摆渡车从节点p到q的路径用 $r_{p,q}$ 表示, $r_{p,q}$ 为二元决策变量, $r_{p,q} \in \{0,1\}$,当 $r_{p,q}=1$ 表示在该路径通行,否则未在该路径上通行, $r_{p,q}$ 满足公式(41)约束:

$$[0093] \quad \sum_q r_{p,q} = 1 \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (41)$$

[0094] 行人过街摆渡车到达节点p的时刻用 T_p 表示,离开节点p的时刻用 t_p 表示,当行人过街摆渡车从到达节点p到离开节点p的时刻,由公式(42)计算:

$$[0095] \quad t_p = T_p + F + d_q \cdot \delta_t + d'_q \cdot \delta'_t \quad (42)$$

[0096] 公式(42)中F表示行人过街摆渡车开关门的时间, d_q 、 d'_q 分别表示在节点p处上客、下客人数, δ_t 、 δ'_t 分别表示单位人数上、下摆渡车的时间,单位为秒;

[0097] 当行人过街摆渡车从节点p出发到达节点q,到达节点q的时刻由公式(43)计算:

$$[0098] \quad T_p = t_p + c_{p,q} \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (43)$$

[0099] 行人过街摆渡车离开节点p时的载客人数用 L_p 表示,当行人过街摆渡车从节点p出发到达节点q时,载客量 L_q 由公式(44)计算:

$$[0100] \quad L_q = L_p + d_q - d'_q, \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (44)$$

[0101] 考虑到行人过街摆渡车的容量大小, L_p 的上下限由公式(45)确定:

$$[0102] \quad \max(0, d_p) \leq L_p \leq \min(C, C + d_p - d'_q) \quad \forall p \in O_p \quad (45)$$

[0103] C表示行人过街摆渡车的容量,单位为人/辆;

[0104] 步骤42:以所有过街行人的总延误最小为目标建立目标函数,如公式(46)所示,公式中 T_D 表示过街行人的总延误。

$$[0105] \quad T_D = \sum_p \sum_q (T_q - t_{p,q}) \cdot d_p, \quad \forall p \in O_p, q \in D_p \quad (46)$$

[0106] 通过公式(1)-(45)以及公式(46)的目标函数,可以计算得到在不同行人过街需求下,每辆行人过街摆渡车的控制方案。

[0107] 有益效果:本发明与现有技术相比,具有以下优点:

[0108] 本发明方法针对自动驾驶环境下无信号控制交叉口,提出一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,通过在交叉口各角落设置停靠点,设置行驶通道,根据停靠点的大小确定行人过街摆渡车路径的宽度,通过确定路径的上边界和下边界确定路径方程,能有效模拟行人过街摆渡车在实地交叉口的通行情况。本发明方法具有很好的普适性,能面向不同大小、不同车道数的交叉口,确定任意两节点之间的路径方程,能有效保障自动驾驶环境下交叉口行人过街的安全。

附图说明

[0109] 图1为本发明方法的流程图;

- [0110] 图2为行驶规则示意图；
 [0111] 图3为步骤32描述的v-t图；
 [0112] 图4为步骤33描述的v-t图；
 [0113] 图5为步骤41行人过街摆渡车运行的时间节点示意图；
 [0114] 图6为本发明方法的研究对象交叉口示意图；

具体实施方式

[0115] 结合附图1~6和实施例,对本发明技术方案详细说明如下:

[0116] 一种自动驾驶环境下交叉口行人过街摆渡车行驶通道的设置方法,所述步骤如下:

[0117] 步骤1:确定交叉口的基本信息,包括交叉口的大小、车道数及车道宽度,确定行人过街摆渡车的信息、包括:车辆大小、车辆的容量、车辆的运行参数,确定行人过街摆渡车的停靠位置的数量和大小,并规定行驶区域,设置行人过街摆渡车在交叉口区域的行驶通道;

[0118] 步骤2:在交叉口内部建立直角坐标系,在步骤1确定的行驶通道下,通过边界方程确定停靠节点之间行人过街摆渡车的行驶轨迹方程;

[0119] 步骤3:根据交叉口和行人摆渡车基本数据,计算行人过街摆渡车在各行驶轨迹上的行驶时间;

[0120] 步骤4:根据行人过街需求量、行人过街摆渡车在各行驶轨迹上的行驶时间,确定每辆行人过街摆渡车在交叉口的具体行驶路径。

[0121] 实施例中步骤1所述的确定交叉口信息、行人过街摆渡车信息,作为模型的输入条件,并且规定行人过街摆渡车的行驶区域,设置行人过街摆渡车在交叉口区域的行驶通道,步骤2在该通道下确定每辆车的行驶轨迹方程,再通过步骤3计算行人过街摆渡车在通道内各行驶轨迹上的行驶时间,最后步骤4,根据行人过街的需求确定行人过街摆渡车具体的行驶方案;

[0122] 步骤11中所述,确定交叉口的基本信息,包括交叉口的大小、车道数及车道宽度,确定行人过街摆渡车的信息、包括:大小、容量、运行参数,确定行人过街摆渡车的停靠位置并规定行驶区域,本发明实施例选取双向两车道的正交十字路口,交叉口的基本信息为,交叉口的进出口车道的车道数均为2,即步骤1中 $m=2$,车道宽度均设置为3m, $d_i^0 = D_j^0 = 3m$;行人过街摆渡车的信息为,行人过街摆渡车的长和宽分别为 $a' = b' = 1.25m$,单位人数上车、下车时间 δ_t 和 δ_t' 均为0.5s,开关门的时间 $F=4s$,停靠点的长和宽分别是 $a=b=1.5m$,每辆摆渡车的容量 $C=20$ 人,考虑到行人乘坐摆渡车的舒适性,设置行人过街摆渡车的加速度和减速度大小均为 $1m/s^2$,即 $a^+ = a^- = 1m/s^2$,设定理论最大行驶速度为 $v=4m/s$;

[0123] 根据步骤12,设置行人过街摆渡车在交叉口区域的行驶通道,当行人过街摆渡车从1、4、7、10停靠点出发时,行人过街摆渡车只在1、4、7、10、13、14、15、16节点组成的白色区域运行;从2、5、8、11停靠点出发时,只在2、5、8、11、17、18、19、20节点组成的灰色区域运行;从3、6、9、12停靠点出发时,只在3、6、9、12、21、22、23、24节点组成的灰色区域运行,此外,行人过街摆渡车可以在同一个位置的三个停靠点之间运行;

[0124] 根据步骤21,以交叉口中心点为原点,在交叉口内部建立直角坐标系,在实施例交叉口中,行人过街摆渡车停靠点到交叉口最外侧车道的距离, $\xi_{1,15} = \xi_{3,23} = \xi_{4,14} = \xi_{9,21} =$

4.75m 、 $\xi_{2,5}=\xi_{5,8}=\xi_{8,11}=\xi_{11,2}=2.25\text{m}$ 、 $\xi_{1,4}=\xi_{3,12}=\xi_{6,9}=\xi_{7,10}=0.75\text{m}$,

[0125] 根据步骤21的公式(1)~(6),在实施例中,可以计算出节点之间路径的内外边界方程,如表1表示节点对应路径的外边界方程:

[0126] 表1

路径	外边界方程
节点1→节点13、节点4→节点16	$y=12.25, -6.75 \leq x \leq 6.75$
节点2→节点20、节点5→节点19	$y=9.75, -8.25 \leq x \leq 8.25$
节点3→节点23、节点6→节点22	$y=8.25, -10.75 \leq x \leq 10.75$
节点7→节点15、节点10→节点14	$y=-12.25, -6.75 \leq x \leq 6.75$
节点8→节点18、节点11→节点17	$y=-9.75, -8.25 \leq x \leq 8.25$
节点9→节点21、节点12→节点24	$y=-8.25, -10.75 \leq x \leq 10.75$

[0127] 根据步骤22的公式(7)~(12),在实施例中,可以计算出节点之间路径的内外边界方程,如表2表示节点对应路径的外边界方程:

[0128] 表2

路径	外边界方程
节点1→节点15、节点10→节点16	$x=-6.75, -10.75 \leq y \leq 10.75$
节点2→节点18、节点11→节点19	$x=-8.25, -8.25 \leq y \leq 8.25$
节点3→节点21、节点12→节点22	$x=-10.75, -6.75 \leq y \leq 6.75$
节点4→节点14、节点7→节点13	$x=6.75, -10.75 \leq y \leq 10.75$
节点5→节点17、节点8→节点20	$x=8.25, -8.25 \leq y \leq 8.25$
节点6→节点24、节点9→节点23	$x=10.75, -6.75 \leq y \leq 6.75$

[0129] 根据步骤23的公式(13)~(24),在实施例中,可以计算出节点之间路径的内外边界方程,如表3表示节点对应路径的外边界方程:

[0130] 表3

路径	外边界方程
节点1→节点14、节点7→节点16	$y=-1.5333x-1.9, -8.25 \leq x \leq 8.25$
节点2→节点17、节点8→节点19	$y=-x-2.5, -10.75 \leq x \leq 10.75$
节点3→节点24、节点9→节点22	$y=-0.6522x+1.2391, -12.25 \leq x \leq 12.25$
节点4→节点15、节点10→节点13	$y=-1.5333x+1.9, -8.25 \leq x \leq 8.25$
节点5→节点18、节点11→节点20	$y=x+2.5, -10.75 \leq x \leq 10.75$
节点6→节点21、节点12→节点23	$y=0.6522x+1.2391, -12.25 \leq x \leq 12.25$

[0131] 根据步骤31的公式(26)~(28),计算从出发节点p到终止节点q的距离 $L_{p,q}$,以 $L_{1,15}$ 和 $L_{10,14}$ 为例, $L_{1,15} = \sum_{i=1}^m d_i^Q + \sum_{j=1}^m D_j^D + 2 \cdot \xi_{p,q} = 3 * 2 + 3 * 2 + 2 * 4.75 = 21.5\text{m}$; $L_{10,14} = \sum_{a=1}^{n_s} d_a^S + \sum_{b=1}^{m_s} D_b^S + 2 \cdot$

$$\xi_{10,14} = 3 * 2 + 3 * 2 + 2 * 0.75 = 13.5\text{m}; L_{1,14} = \sqrt{L_{1,15}^2 + L_{10,14}^2} = 25.387\text{m}.$$

[0132] 根据步骤32和步骤33,计算行人过街摆渡车在 $L_{1,13}$ 、 $L_{1,15}$ 两点之间的运行时间。当行人过街摆渡车以规定的加速度和最大行驶速度行驶时,速度以 1m/s^2 的加速度从0增加到 4m/s 时,根据匀加速运动速度与时间公式 $v_t = v_0 + a \cdot t$,计算得所需时间为 4s ,根据匀加速运

时间与位移公式 $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$, 计算得运行距离为8m; 当速度以 1m/s^2 的减速度从 4m/s 降低到0时, 运行距离为8m, 当 $L_{1,13} = 13.5\text{m} < 16\text{m}$ 时, 行人过街摆渡车的最大行驶速度达不到 4m/s , 根据步骤32计算得最大行驶速度 $v^- = 3.674\text{m/s}$, $t_1 = t_2 = 3.675\text{s}$, $t_{1,13} = t_1 + t_2 = 7.348\text{s}$ 。 $L_{1,15} = 21.5\text{m} > 16\text{m}$, 说明在 $L_{1,15}$ 上行驶时, 能达到 4m/s , 且以 4m/s 的速度匀速行驶 $21.5\text{m} - 16\text{m} = 5.5\text{m}$, 匀速行驶的时间为 $5.5/4 = 1.375\text{s}$, 在 $L_{1,15}$ 总行驶时间为 9.375s 。

[0133] 行人过街摆渡车以规定的速度和加速度行驶, 可以计算出所有从出发点到对应终点的时间 $L_{p,q}$:

$$L_{1,16} = L_{4,13} = L_{10,15} = L_{7,14} = L_{2,19} = L_{5,20} = L_{11,18} = L_{8,17} = L_{3,22} = L_{6,23} = L_{12,21} = L_{9,24} = 0\text{s};$$

$$L_{1,13} = L_{4,16} = L_{10,14} = L_{7,15} = L_{3,21} = L_{6,24} = L_{12,22} = L_{9,23} = 7.348\text{s};$$

$$L_{1,15} = L_{4,14} = L_{10,16} = L_{7,13} = L_{6,22} = L_{3,23} = L_{12,24} = L_{9,21} = 9.375\text{s};$$

$$L_{1,14} = L_{4,15} = L_{10,13} = L_{7,16} = L_{3,24} = L_{6,21} = L_{12,23} = L_{9,22} = 10.935\text{s};$$

$$L_{2,20} = L_{2,18} = L_{5,19} = L_{5,17} = L_{11,19} = L_{11,17} = L_{8,20} = L_{8,18} = 8.125\text{s};$$

$$L_{2,17} = L_{5,18} = L_{11,20} = L_{8,19} = 10.624\text{s};$$

[0134] 根据步骤4, 当某一时刻从交叉口的西北角出发到东北角、东南角、西南角各有4、7、4位行人; 从东北角出发到西北角、东南角、西南角分别有8、7、3位行人; 从东南角出发到西北角、东北角、西南角各有5、2、5位行人; 从西南角出发到西北角、东北角、东南角分别有8、9、2位行人时。计算得该辆行人过街摆渡车的在交叉口各角落停靠点间的行驶路径及在每个节点的上下客人数, 行人过街摆渡车具体的控制方案如表4所示。

[0135] 表4行人过街摆渡车具体的控制方案表

[0136]

步骤	摆渡车所在位置	上客人数(人)	下客人数(人)	载容量(人)	到达时刻(s)	出发时刻(s)
1	2	7	0	7	0	7.5
2	11	11	0	18	15.625	25.125
3	17	0	7	11	33.25	40.75
4	8	2	0	13	40.75	45.75
5	20	0	11	2	53.875	63.375
6	5	18	0	20	63.375	76.375
7	19	0	8	12	84.5	92.5
8	2	4	0	16	92.5	98.5
9	18	0	4	12	106.625	112.625
10	17	0	9	3	120.75	129.25
11	8	10	0	13	129.25	138.25
12	18	0	8	5	146.375	154.375
13	11	8	0	13	154.375	162.375
14	19	0	13	0	170.5	181
15	2	4	0	4	181	187
16	20	0	4	0	195.125	—

[0137] 本发明的实施方式并不受所述实施例的限制, 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。

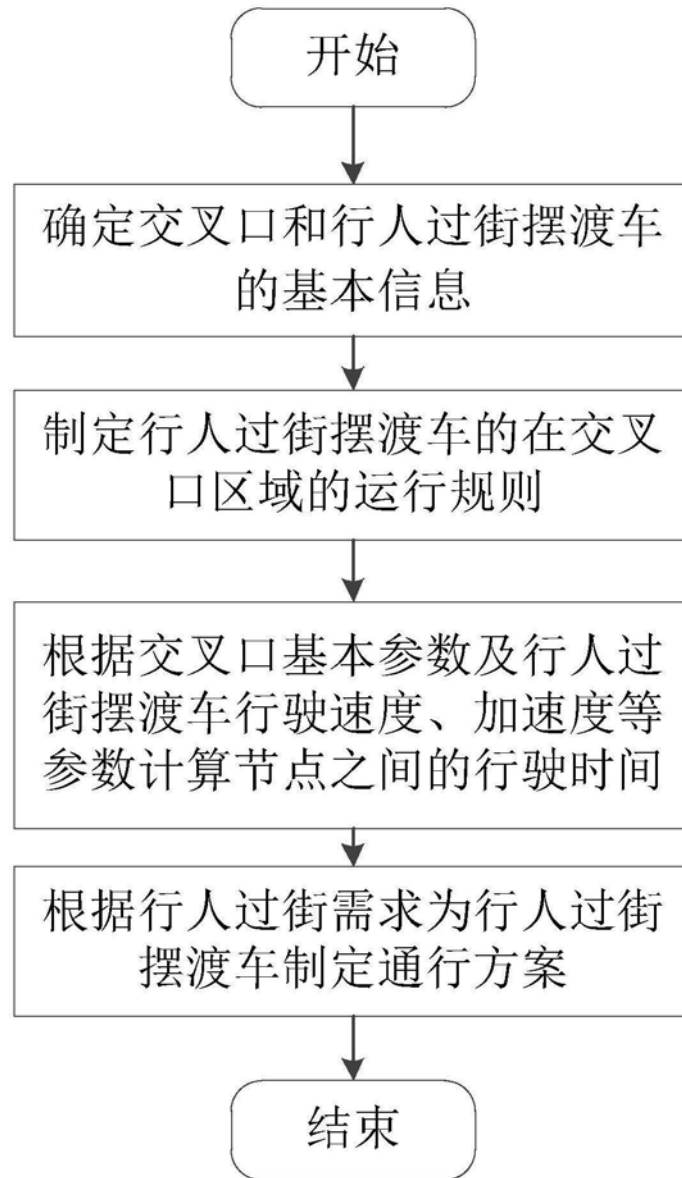


图1

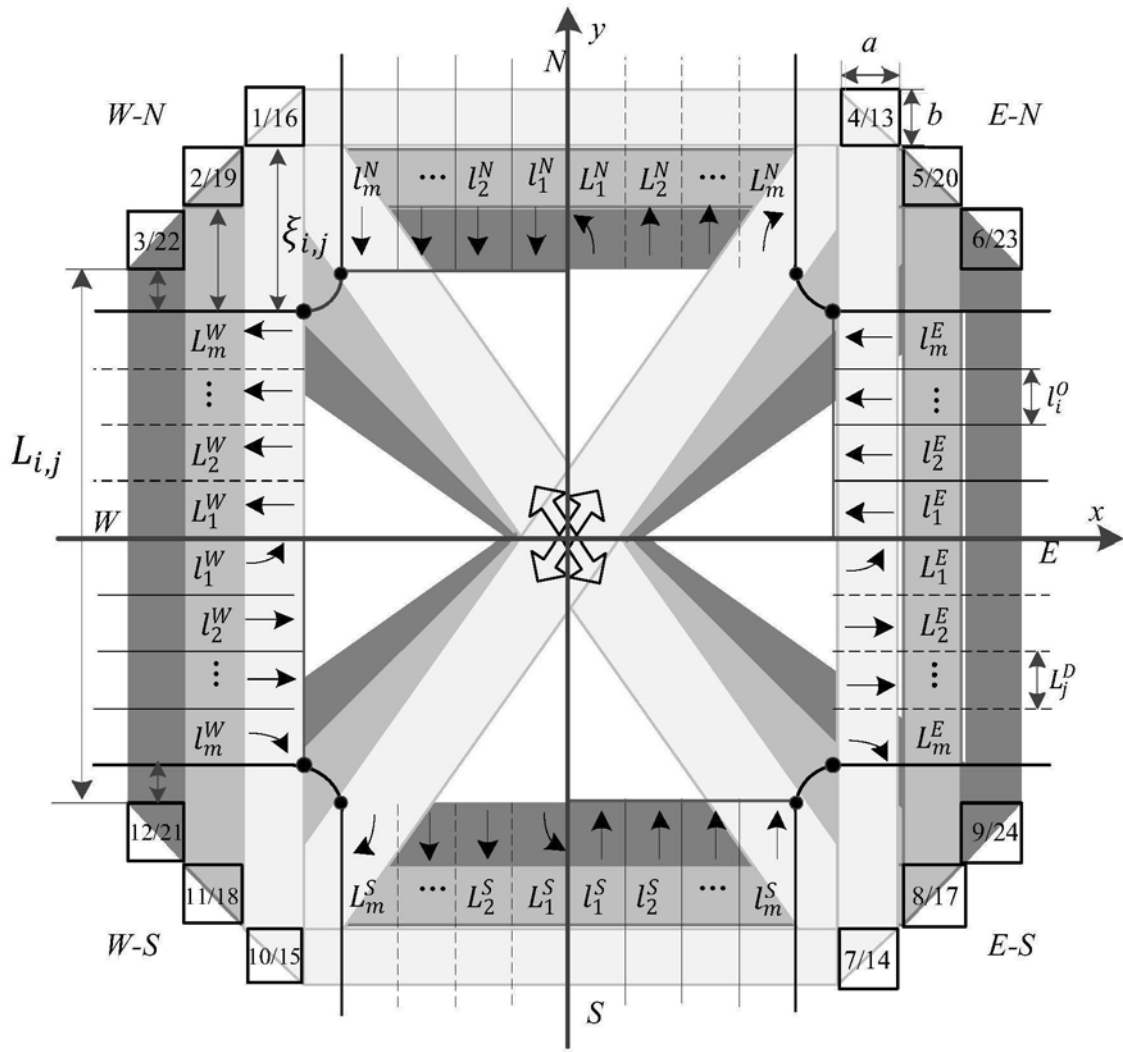


图2

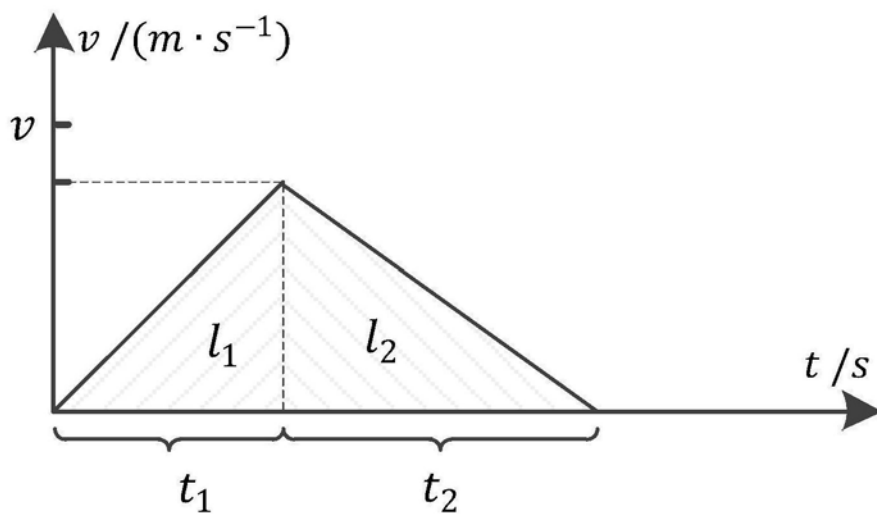


图3

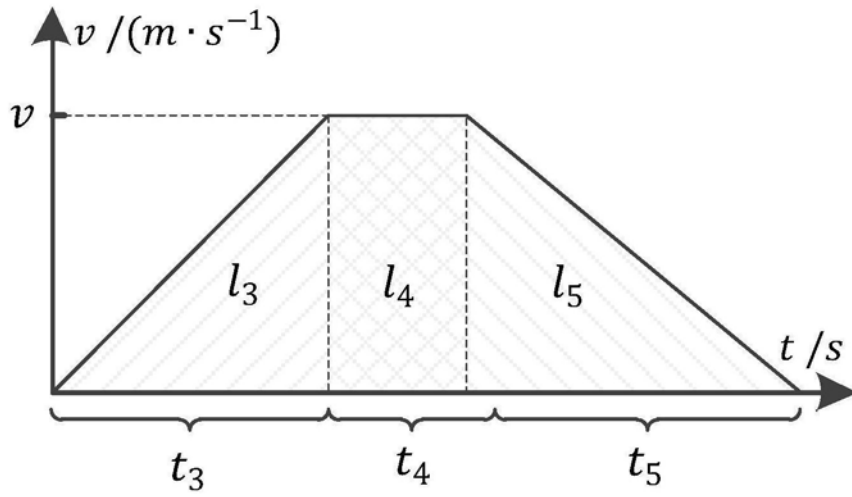


图4

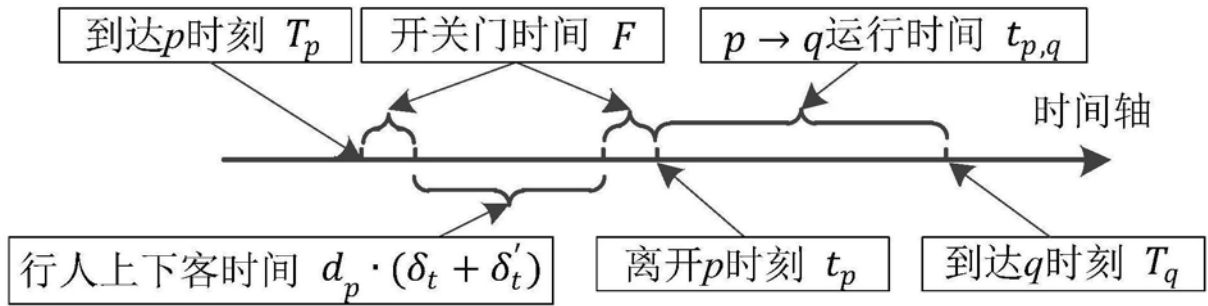


图5

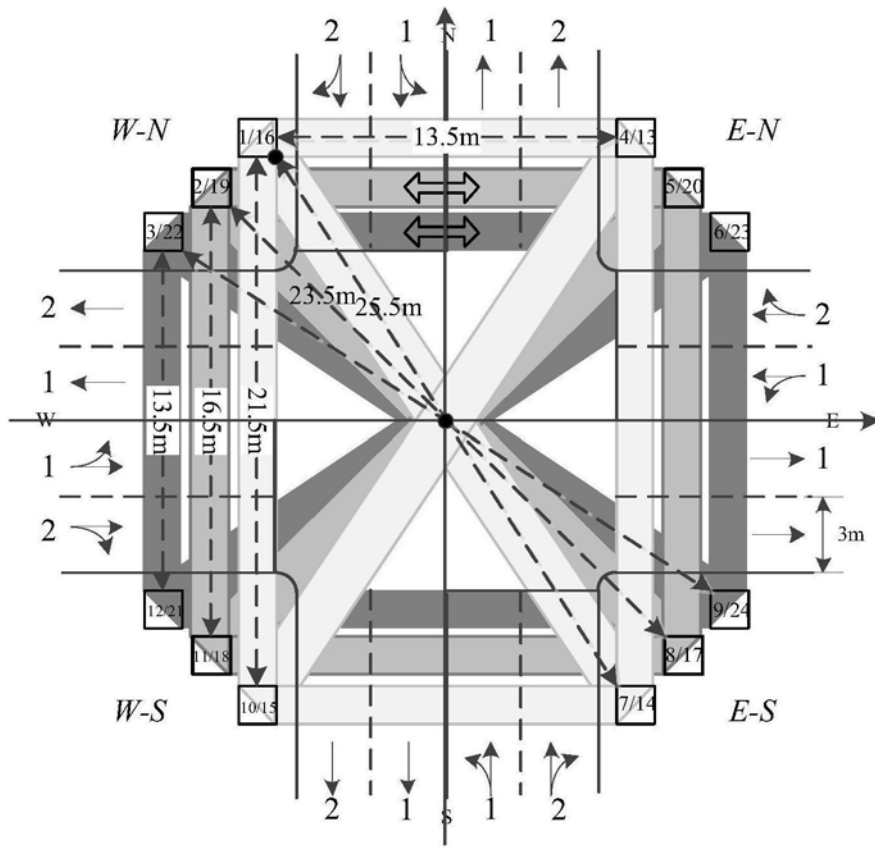


图6