

个人快速交通系统智能协同控制与优化^{*}

孙沐霖 赵春晓[†]

(北京建筑大学电气与信息工程学院,北京建筑大学未来城市设计高精尖创新中心,100044,北京)

摘要 提出了一种新型智能协同控制运行方案,基于个人快速交通(PRT)车辆的运行规则与车辆间的自组织关系,以自底向上的方式建立动态知识图谱,用以辅助车辆运行决策;通过领航者-跟随者策略在车辆行驶过程中形成虚拟车队运行,在此基础上,将滚动优化策略与粒子群算法(PSO)相结合,对车辆的加速度和减速度进行滚动优化调整,缩短了PRT车辆形成虚拟编队的运行时间,进一步提高了PRT系统的运输能力.结果表明:智能协同控制运行方案使得PRT车辆形成虚拟编队所耗时间平均减少了约38%,每小时运输客流量平均提高了约1.5倍;该运行方案保证了PRT系统运行的高效性和安全性,符合低碳出行、绿色发展的需要.

关键词 个人快速交通系统;动态知识图谱;虚拟编队;滚动优化;粒子群算法

中图分类号 U495;TP273

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2022091

0 引言

随着中国社会城市化发展进程的不断加快,机动客运车辆保有量逐年高速递增,中国大中城市交通拥堵问题愈加突出,给人们出行带来了新的挑战^[1].中国城市公共交通体系基本形成了以大运量地铁为主体,出租车、公用汽车作为补充的格局.然而地铁、轻轨等大运量轨道交通只能为人们提供站到站的交通服务,不能将乘客直接运输到最终目的地.个人快速交通(personal rapid transportation, PRT)于20世纪50年代由Fichter^[2]首次提出,它是一种主要由无人小型智能车辆,且以高架为主的专属路权轨道组成的新型交通系统,旨在避开城市地面上拥挤复杂的开放式公共道路,在专属路权轨道线路内行驶以实现城市站到站间车辆的安全快速及便捷直达服务,以满足都市人群个性化交通的需求^[3].

自PRT概念提出以来,在国外多个国家,如美国、英国、加拿大等得到了广泛的发展^[4].1975年,波音公司在西弗吉尼亚大学首次完成对PRT理念的试验,建造了1个长为8 km的PRT系统,让学生能够便捷地在不同校区之间活动,该系统目前仍然正常服务.2011年,基于ULTra(urban light transportation)技术研发在英国希思罗机场建造了1条运输旅客的PRT线路,被视为对未来智能交通科技的一次革命性创新.PRT在国内也有应用:成都天府国际机场通过PRT,

将航站楼和机场北侧远端的停车场连接在一起,该线路全长4.8 km,仅需5 min就可以完成航站楼到停车场的单向运输,这是PRT技术在中国的首次应用;赵汝江等^[5]针对广州城中心区及周边交通堵塞的问题,提议将PRT作为广州市除大运量地铁以外的主要公共交通工具,同时规划了首条PRT路线方案;袁小伟等^[6]对北京朝阳CBD交通出行规划方式进行了深入考察研究,基于PRT技术对车辆主要行驶线路、停车场、站点均做了初步的规划及设计,希望传达新城市交通方式的规划理念.

然而中国大中城市最显著的特点是人口基数大,据统计,中国的北京、上海这2个超大型城市日均客运量超过900万人,而英国目前运营的ULTra线路运输能力大约为3600人·h⁻¹.显然传统的PRT模式因单个车辆座位数量有限,不能满足中国城市的大运量需求^[7].本文在对PRT系统研究的基础上,重点研究车辆运行的协同控制问题,提出了一种新型智能协同控制运行方案;通过研究PRT系统中车辆行为与运行规则,自底向上形成动态知识图谱,通过车辆自主控制、列车间相互作用,基于领航者-跟随者法控制,使车辆在运行中保持最小安全距离,最大程度缩小车辆运行间隔,增大PRT系统单位运输客流量;另外针对PRT系统车辆数目多易造成形成虚拟编队的时间过长,不但会增加乘客的出行时间,而且会导致专属路权线路的拥挤,易发生交通安全事故问题,同时提

^{*} 国家自然科学基金重点资助项目(62031003)

[†] 通信作者:赵春晓(1964.2—),男,博士,教授.研究方向:WEB智能信息系统、复杂系统. E-mail: chunxiao@bucea.edu.cn
收稿日期:2022-04-18

出了通过滚动优化策略与粒子群算法 (particle swarm optimization, PSO) 相结合, 对 PRT 车辆的加速度与减速度进行优化, 缩短虚拟编队的形成时间, 进一步提高整体线路的通过能力和效率。

本文基于所提出的协同控制方案在 Netlogo 仿真平台搭建了 PRT 虚拟编队和滚动粒子群优化模型。协同控制方案仿真试验的结果表明, 本文所提出的控制方案能够在使 PRT 车辆安全行驶的前提下, 实现虚拟编队运行, 使 PRT 车辆形成虚拟编队的时间平均减少了约 38%, 每小时载客运量平均提高了约 1.5 倍。

1 PRT 车辆虚拟编队模型

1.1 构建基于知识图谱的车辆协同控制模型 PRT 车辆在行驶过程中需要根据道路环境的变化选择行驶工况, 为保证乘客的安全性和交通流畅性, 车辆在短时间内选择合适的行驶工况尤为重要。知识图谱是 2012 年谷歌公司提出的概念, 其本质是一个从多种渠道收集信息, 以提高搜索效率的大规模语义网络知识库。它可以描述现实世界中实体、属性与实体之间的关系, 以更接近人类认识世界的知识网络形式存

在, 从而得到一个对复杂整体的具体描述^[8]。

PRT 系统是由大量智能车辆及其控制系统组成的复杂结构, 具有大规模、分布式、动态的特点, 传统的建模方法不能很好地揭示其背后蕴藏的原理, 因此, 本文通过自底向上的构建方式, 利用一定的科技手段, 在车辆行驶过程中直接采集大量数据, 经筛选之后再融入知识库网络中^[9]。将建立初始分为信息提取、知识融合和认知加工, 通过这 3 个步骤将异构的知识结构化并取得知识间的潜在关联, 从而形成强大的动态知识网络, 进而对 PRT 车辆行驶数据进行深度挖掘以及大数据分析, 以达到辅助决策的功能。

PRT 车辆行驶工况分为加速、减速和匀速这 3 种: 当前方车辆行驶工况发生改变时, 后方的车辆通过车间通信获取此时 2 辆车行驶间距 d 和速度 v ; 当 2 辆车行驶间距超过最小安全距离但后车在未达到最大速度时车辆会加速行驶, 直至与前车保持最小的安全距离 d_1 , 并使前后车辆以最大行驶速度运行; 同理, 当 2 辆车行驶间距在最小安全距离以内时, 后车会调整速度进行减速, 使 2 辆车之间达最小安全距离, 同时 2 辆车行驶速度均保持最大值。PRT 车辆协同控制运行知识网络概念模型如图 1 所示。

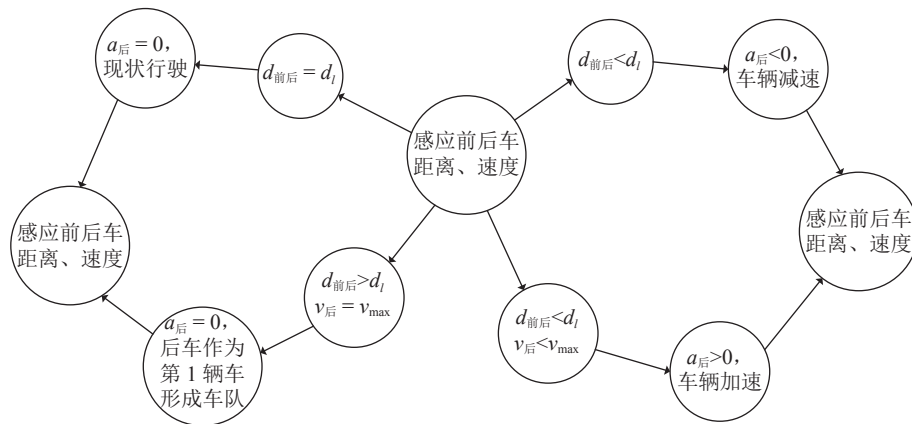


图 1 PRT 运行概念知识网络模型

1.2 基于领航者-跟随者的编队形成方法 领航者-跟随者策略在早期被应用于机器人编队控制^[10]。在车辆运行、无人机队列等编队控制领域逐步得到了广泛应用。其基本思想是: 根据控制需要在编队中选定 1 个或多个智能体作为领航者, 编队中其余的智能体则均设为跟随者^[11]。在行驶过程中, 领航者的作用是引领整个编队按规划路线前行, 通过设置领航者与跟随者之间的距离和角度可控制多智能体形成编队队形, 具有运动灵活、扩展性强等特点^[12]。

本文采用领航者-跟随者策略中的 $l-\varphi$ 反馈控制方

法形成虚拟 PRT 车辆编队。 $l-\varphi$ 法是通过控制领航者与跟随者智能体二者间的距离 l 和运行方向夹角 φ , 使跟随者智能体保持指定的位置, 达到控制队形的目的。本次试验环境为 PRT 车辆行驶在专属路权直线路段上, 因此领航者与跟随者智能体运行方向一致, 主要研究 PRT 车辆编队行驶的最小安全距离 d_1 , 如图 2 所示。

PRT 车辆虚拟编队运行的另一个关键步骤是车辆跟随过程。跟随车辆的行驶状态受前车影响^[13], 通过车车交互, 跟随车辆能够实时获取前车的速度以

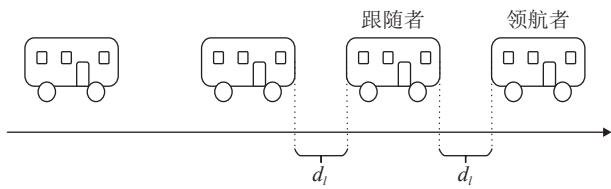


图 2 领航者-跟随者策略示意

及与前车的实际距离等信息,进行自适应调整.相邻车辆之间的行车间距与 2 辆车的位置、行车速度以及加速度有关,故 PRT 车辆的协同编队控制实际上是对车辆位置和加速度的控制.

PRT 车辆跟随过程概念如图 3 所示,1 号 PRT 车辆在专属路权线路上行驶时,会通过雷达感应器等车

载设备实时感知并采集运行环境变化的数据,结合 PRT 系统的动态知识图谱,对采集到的数据进行比较分析,针对车辆运行环境的变化作出适当决策,以此对 PRT 车辆的行驶状态做出调整,同时基于车车通信,将调整后的行驶状态信息反馈给相邻的 2 号 PRT 车辆.同理,2 号 PRT 车辆会根据获取的 1 号 PRT 车辆行驶数据及环境变化信息进行自适应调整,即

$$\lim(v_1 - v_2) = 0, \quad (1)$$

$$\lim(s_1 - s_2) = d_l. \quad (2)$$

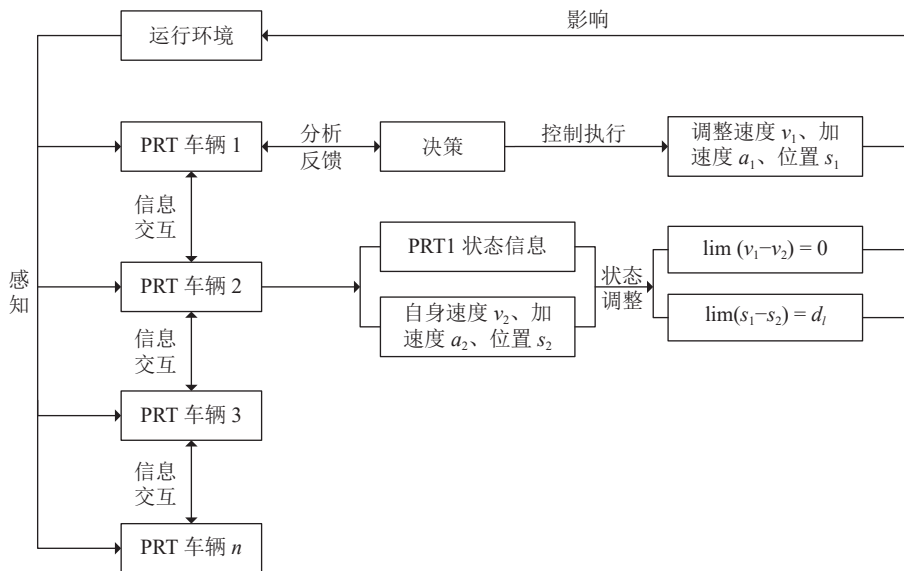


图 3 PRT 车辆跟随模型概念

在运行一段时间后,1、2 号 PRT 车辆的速度趋于一致,并且使 2 辆车之间保持安全距离行驶;其他车辆按此反馈控制进行调整,最终实现与 1 号 PRT 车辆运行状态的协同.

2 滚动粒子群优化算法

由于 PRT 车辆行驶状态受前车速度、加速度、相对距离等多种因素的影响,且是动态变化的,同时加速度过小将会增大形成虚拟车队的时延,影响 PRT 专属线路的运输效率;加速度过大时则需较大的紧急制动减速度,这会降低系统整体稳定性,在一定程度上影响舒适度.为了使 PRT 车辆的加速度和减速度能够进行自适应调整,本文采取滚动粒子群优化算法对车辆行驶的加速度和减速度进行在线优化,以最大程度地减少虚拟车队形成时间,同时增强 PRT 系统的鲁棒性^[14].

滚动优化原理是基于周期驱动在多个有限时间窗口实施滚动优化的具体表现形式.自采样起,优化参数只对相邻采样的这段固定时间起作用,即采样时间间隔,同时不断向前滚动,进行实时优化,在每个滚动优化时间窗口采用 PSO 算法对加速度、减速度进行优化.

1995 年, Eberhart 等^[15]首次提出了 PSO 算法,其基本原理是通过个体间的信息交互和影响,不断寻找最优解.该算法在优化求解过程中,将每个粒子都作为具体问题的一个潜在的解,每个粒子的移动速度矢量决定这些粒子在搜索域中移动的距离和方向^[16].在迭代收敛过程中,粒子通过 2 个最优值更新速度矢量:一个是粒子在自身移动过程中发现的个体最优解;另一个是通过比较,得出当前整个粒子群的全局最优解.

在 PSO 算法搜索域中,所有的粒子以一种速度矢

量进行移动搜索. 假设有 N 个粒子在一个 D 维的搜索域中移动, 粒子的坐标和速度分别为

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}), \quad (3)$$

$$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}), \quad (4)$$

式中: $i \in [1, N]$; 粒子的速度作为粒子在每次迭代中移动的距离和方向. 粒子当前经过位置的最优值表示为

$$p_{\text{best}} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}). \quad (5)$$

粒子群当前经过的最优位置为

$$g_{\text{best}} = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD}), \quad (6)$$

$$P_g(t) \in \{P_0(t), P_1(t), \dots, P_N(t)\} | f(P_0(t)) \cdot f(P_1(t)) \cdots f(P_N(t)). \quad (7)$$

2 个最优值找到之后, 粒子据此更新自己的速度和位置:

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 (P_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (P_{gd}(t) - x_{id}(t)), \quad (8)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t), \quad (9)$$

式中: ω 为惯性权重, 代表粒子对自身速度矢量的认可程度; c_1 、 c_2 为加速常数, c_1 是“认知”部分, 即当前自身所能搜索到的最优位置, c_2 是“全局”部分, 即整个种群目前所能够搜索到的最优位置; r_1 、 r_2 为 0~1 的随机增量^[17].

仿真试验通过滚动粒子群优化算法对 PRT 车辆形成虚拟编队过程的加速度和减速度进行在线寻优, 在模型开始运行时刻对 PRT 车辆行驶数据进行采集; 粒子群算法收敛并输出最优解后, PRT 车辆在有限时间窗口内以最优行驶参数进行自适应调整运行状态, 直至下一采样时刻循环该流程, 使车队以更短的时间形成虚拟编队并达到最高速度, 提高线路的利用效率, 并在保证运行安全的前提下避免拥堵情况的发生.

3 试验与结果分析

3.1 仿真试验 仿真试验利用 Netlogo 多智能体仿真软件来实现, 该平台基于 logo 编程, 能够准确描述自然和社会多智能体活动的现象, 具有操作简单、可视化程度高等特点^[18]. 在 Netlogo 编程建模环境中, 设定仿真主体及其参数, 本次试验仿真主体: 智能车辆运行环境、智能车辆(表 1).

模型中主体 Agent 为 PRT 车辆, 其与运行环境均设定为理想状态, 可以实现车与车、车与运行环境之间的交互. Netlogo 仿真模型中, 运行环境由地块 (patches) 构成的二维坐标系组成, 因真实 PRT 车辆长度约为 5 m, 本次试验环境将每个瓦片设置为代表真

表 1 仿真主体及属性

编号	主体	属性
1	数量	0~20
2	初始速度/(km · h ⁻¹)	0~5
3	最大速度/(km · h ⁻¹)	60
4	加速度/(m · s ⁻²)	-1.2~1.2
5	编队跟车距离/m	10
6	车队间隔距离/m	60

实情况 5 m×5 m 的范围, 道路环境选取的是宽度为 20 m (4 个单位地块) 的直线道路, 以方便试验时观察车辆的运行状态和行为. 试验中每一个智能车辆即是一个海龟 (turtle), 设置 0~20 个 turtles 随机水平分布在二维网格上的直线道路中, 基于上文所述领航者-跟随者编队形成方法, 设置海龟的运行动作, 完成虚拟编队的形成.

在 Netlogo 平台上生成一群粒子, 随机分布在 50×50 个瓦片构成的坐标系上. 粒子的坐标 (x,y) 在 [-25, 25]×[-25×25] 的世界维度中移动, 为使粒子坐标与每个车辆模型执行的参数关联起来, 通过函数 VAL 转换为 [0, 1.2]×[0, 1.2] 的坐标值, 即

$$L_{va} = (x \times 4 \times 0.012)(y \times 4 \times 0.012). \quad (10)$$

在所建立的 PRT 车辆虚拟编队模型中, PRT 车辆数量、加速度等参数影响模型的演化. 优化模型的思想是测算试验度量所获得的参数的最大值是多少, 即优化与模型是相关的一个函数, 该函数不能在 Netlogo 中直接用数学表达式计算. 所以本文通过运行模型, 在模型允许其演化后直接测量并报告优化后车辆形成车队所用的时间, 即适应度函数 (M). 算法流程如下:

输入: 粒子惯性权重参数 (particle-inertia)、粒子个体最优加速因子 (attraction-to-personal-best)、粒子全局最优加速因子 (attraction-to-global-best)、粒子数量 (num-particle)、粒子最大速度 (lim-vel-particle)、PRT 车辆数量 (num-cars).

输出: 最优加速度 (x), 最优减速度 (y)
 create-particles num-particle; 粒子群初始化
 setxy random-xxcor random-yycor
 set v (list (random-normal 0 1) (random-normal 0 1))
 set acceleration x
 set deceleration y
 repeat 500 [go-model]; 调用模型运行 500 步
 if M < personal - best - M
 set personal-best-val val

```

set personal-best-x xcor
set personal-best-y ycor; 更新个体参数
if global - best - M < personal - best - M
set global-best-val personal-best-val
set global-best-x personal-best-x
set global-best-y personal-best-y; 更新全局参数
set v +v v(v((1-particle-inertia) attraction-to-personal
-best (random-float 1.0) dist) (list dx dy)); 粒子为“个人最佳”吸引, 改变速度
set v +v v(v((1 - particle-inertia) attraction-to-Global-
best (random-float 1.0) dist) (list dx dy)); 粒子为“全局最佳”吸引, 改变速度
set v map [ a -> ifelse-value ( abs a > lim-vel-particle) [sg
a (lim-vel-particle)][a] ] v; 限制粒子最大速度
fd norma v
report x y

```

3.2 试验结果分析 通常 PSO 算法会使用预先确定的最大迭代次数, 或者当前粒子在最优位置上满足适应度的最小阈值作为迭代循环的停止条件. 本文试验需快速计算出虚拟车队中 PRT 车辆行驶的最优加速度和减速度, 为避免过量计算, 采用预设最大迭代次数作为粒子群优化循环的停止条件. 为筛选出合适的最大迭代次数, 在模型中专属路权线路上分别生成 10、15、20 辆车进行优化试验, 粒子惯性权重 ω 设为 0.6, 自身学习因子 c_1 与全局学习因子 c_2 设为 0.2, 粒子数目设置为 50, 最大速度取 2.1, 粒子群寻优收敛过程如图 4 所示.

图 4 中, 在不同车辆数目情况下进行优化时, 加速度和减速度在粒子群算法迭代 20 次左右时已完成收敛, 为保证得出的结果是最优值, 设定最大迭代次数为 25.

滚动粒子群优化过程中, 关键是选择采样时间间隔, 采样时间间隔过大无法快速对车辆行驶工况做出实时调整, 过小则影响系统的稳定性, 因此在不同车辆数目情况下, 分别对采样时间间隔为 1.0、1.5 和 2.0 s 时进行仿真试验, 结果如图 5 所示.

图 5 中采样时间间隔为 1.0 s 时, PRT 车辆在形成虚拟车队并达到最大速度过程中, 加速度和减速度迭代变化相对较多, 但与采样时间间隔为 1.5 s 时相比形成虚拟车队的时间影响不大. 采样时间间隔为 2.0 s 时加速度和减速度变化次数少, 但形成虚拟车队的时间相对较长, 且不能及时针对行驶车况进行实时调整. 综合行车安全及系统稳定性考虑, 设定 1.5 s 作为本文试验滚动优化的采样时间间隔.

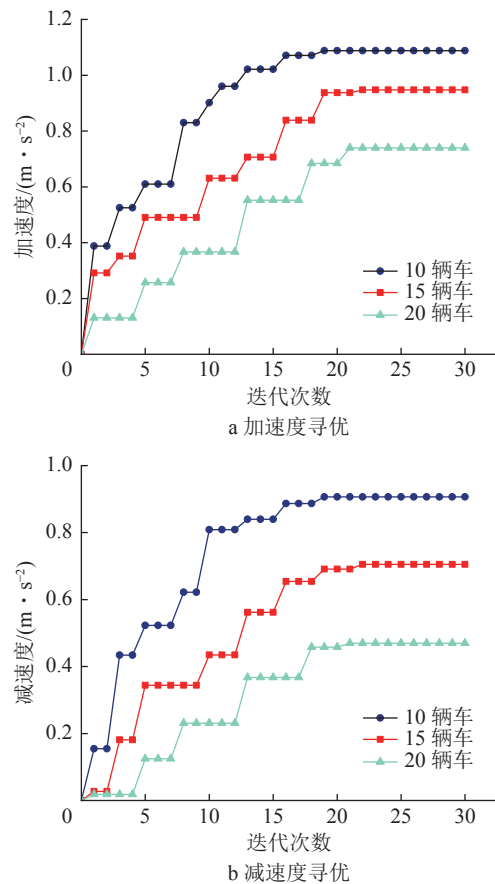


图 4 参数寻优收敛曲线

为了更加直观验证该智能协同控制运行方案对 PRT 车辆运行的滚动优化效果, 对 PRT 车辆为 10 辆情况时, 对形成虚拟车队的时间及乘客运量进行多组对比实验, 其中乘客运量在每一 PRT 车辆为 5 人满载前提下计算, 将 PRT 车辆以虚拟编队行驶和传统独立自然行驶进行对比分析, 结果如图 6 所示.

由图 6 可见, 该智能协同控制方案对 PRT 车辆形成虚拟编队所耗时间具有明显的优化作用, 结合 10 组试验取平均值, 优化后所用时间较优化前缩短了约 38%. PRT 车辆自然行驶时乘客运量最大为 6000 人 \cdot h⁻¹, 最小为 4800 人 \cdot h⁻¹, 当 PRT 车辆采用智能协同控制方案运行时, 乘客运量有了显著提升, 在第 3 组试验中最大乘客运量提高了 1.7 倍, 通过 10 次试验数据取平均值可知, PRT 车辆采用虚拟编队运行方法可使每小时乘客运量平均提高 1.5 倍.

由试验结果可知, 本文基于车与车间的数据交互和动态知识图谱, 通过领航者-跟随者策略在车辆行驶过程中形成虚拟车队运行使 PRT 车辆以虚拟编队的方式行驶, 缩短了车队中 PRT 车辆的跟车距离. 利用滚动优化策略和粒子群算法有效结合, 对 PRT 车辆在正常行驶过程中的加速度、减速度进行调整, 有

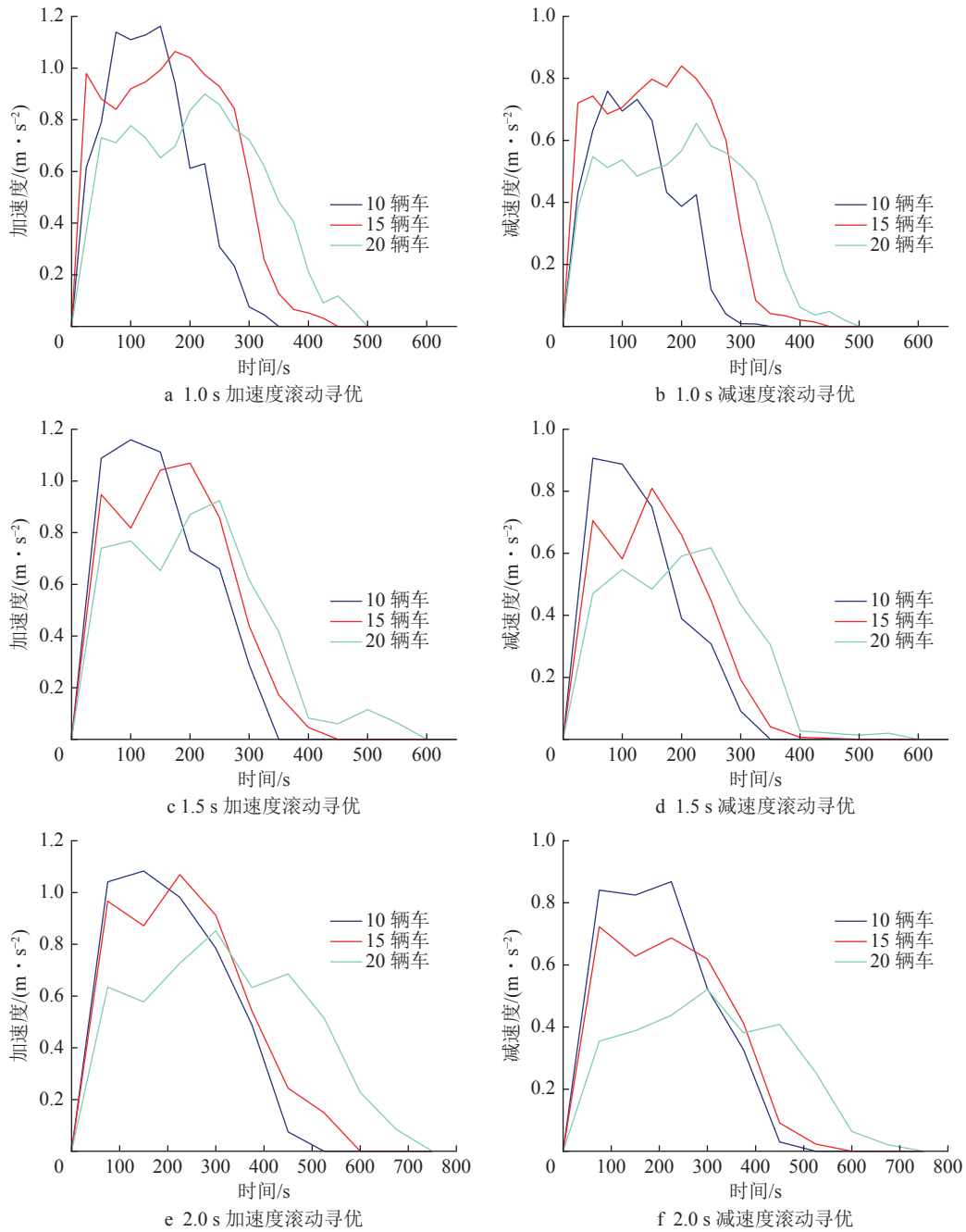


图 5 滚动优化情况

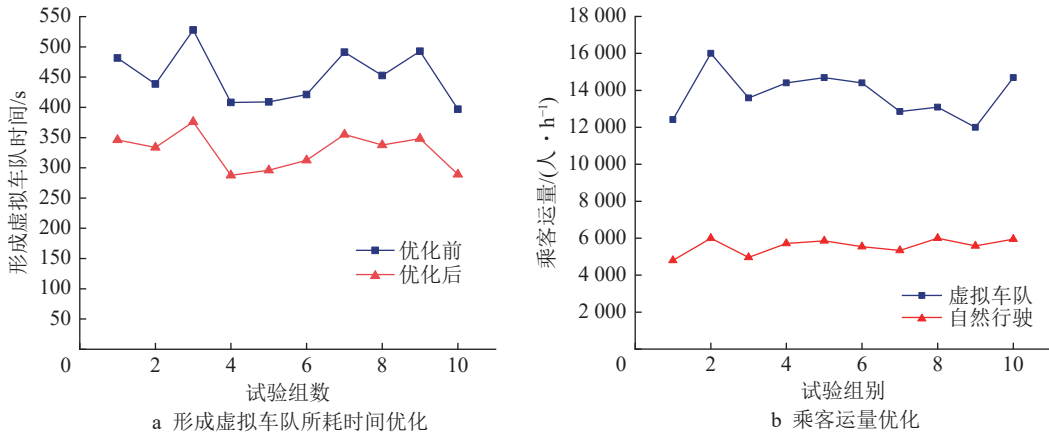


图 6 PRT 系统运行情况

效缩短了 PRT 车辆形成虚拟车队的时 间,从而提高 了线路的利用效率,改善了 PRT 系统运量不足的弊端。

4 结语

本文针对传统 PRT 系统因单个车辆座位数量有限,导致运能不足,难以在大中城市应用的局限性,提出了一种新型智能协同控制方案,通过研究 PRT 系统中车辆行为以及车辆的运行规则,以自底向上方式建立辅助车辆运行决策的动态知识图谱,结合领航者-跟随者编队行驶方法,实现 PRT 车辆以虚拟编队的形式完成载客任务,提高 PRT 系统的运输能力。同时提出通过滚动优化与粒子群算法结合对 PRT 车辆形成虚拟编队时的加速度、减速度进行全局寻优,使车辆以最优行驶工况形成虚拟编队,减少形成车队所耗时间,进一步提高线路的利用效率。最后基于 Netlogo 仿真平台搭建了 PRT 车辆虚拟编队模型和滚动粒子群算法优化模型,针对该智能协同控制方案进行仿真试验,结果表明,本文所提出的智能协同控制方案使 PRT 车辆形成虚拟编队的时间平均减少了约 38%,每小时载客运量平均提高了约 1.5 倍。本文试验基于 PRT 车辆之间理想通信状态情况下,且实际行驶路况更加复杂多变,因此本文提出的新型智能协同控制方案在实际应用过程中仍有一定的局限性,在接下来的研究工作中,将更多考虑到通信延迟问题及突发行驶工况对形成虚拟编队控制的影响。

5 参考文献

- [1] 刘治彦,岳晓燕,赵睿. 我国城市交通拥堵成因与治理对策[J]. 城市发展研究,2011,18(11):90
- [2] FICHTER D. Individualized automatic transit and the city[M]. Chicago: the University of Chicago Press, 1964
- [3] 俞礼军. 个人快速交通技术发展现状与应用展望[J]. 城市轨道交通研究,2007(9):60
- [4] COLE L. Tomorrow's transportation: new systems for the urban future[M]. Washinton: United States Department of Housing and Urban Development, 1968: 53
- [5] 赵汝江,李军. 智能化个人快速运输(PRT)系统的适用性分析:以广州为例[J]. 城市轨道交通研究,2016,19(1):18
- [6] 袁小伟,胡应平. 北京朝阳CBD区PRT运用设想[J]. 住宅科技,2014,34(3):6
- [7] 张天白,赵峰,耿庆厚. 城区PRT交通的适用性分析及改进[J]. 城市公共交通,2020(8):46
- [8] 陈悦,刘则渊,陈劲,等. 科学知识图谱的发展历程[J]. 科学学研究,2008(3):449
- [9] 刘峤,李杨,段宏,等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展,2016,53(3):582
- [10] CONSOLINI L, MORBIDI F, PRATTICHIZZO D. Leader-follower formation control of nonholonomic mobile robots with input constraints[J]. Automatica, 2008, 44(5): 1343
- [11] DIMAROGONAS D V, TSIOTRAS P, KYRIAKOPOULOS K J. Leader-follower cooperative attitude control of multiple rigid bodies [C]//American Control Conference, June 11-13, 2008, Seattle, Washington. New York: IEEE, 2008: 801
- [12] SHEN D B, SUN Z D, SUN W J. Leader-follower formation control without leader's velocity information[J]. Science China, 2014, 57(9): 230
- [13] RAJU N, ARKATKAR S, JOSHI G. Evaluating performance of selected vehicle following models using trajectory data under mixed traffic condition[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2020, 24(6): 617
- [14] 柏赞,袁博,李佳杰,等. 基于滚动优化的地铁列车节能运行协同控制方法[J]. 中国铁道科学,2020,41(3):163
- [15] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory [C]//Sixth International Symposium on Micro Machine & Human Science, October 4-6, 1995, Nagoya. New York: IEEE, 1995: 39
- [16] SONG B, WANG Z, ZOU L. An improved PSO algorithm for smooth path planning of mobile robots using continuous high-degree Bezier curve[J]. Applied Soft Computing, 2020, 100(1): 106960
- [17] FIERRO R, DAS A K. Hybrid control of reconfigurable robot formations[C]//American Control Conference, June 4-6, 2003, Denver, Colorado. New York: IEEE, 2003: 4607
- [18] SKLAR E. Software review: Netlogo, a multiagent simulation environment[J]. Journal of Artificial Life, 2007, 13(3): 303

Cooperative intelligent control and optimization of personal rapid transportation

SUN Mulin ZHAO Chunxiao

(School of Electrical and Information Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 100044, Beijing, China)

Abstract Traditional personal rapid transportation(PRT) vehicles have limited number of single vehicle seats, and have the challenge of complex and changeable driving environment, therefore are difficult to meet actual traffic demand of large volume of urban transportation. A new intelligent cooperative control operation scheme is proposed to solve this problem. Operation rules of PRT vehicles and self-organization relationship among vehicles are used to establish dynamic knowledge maps in a bottom-up manner to assist decision-making of vehicle operation. The leader-follower strategy is used to form virtual fleet operation during actual vehicle driving. Rolling optimization strategy and particle swarm optimization (PSO) algorithm are combined to adjust rolling acceleration of vehicles, resulting in shortened running time of PRT vehicles forming a virtual formation, and further improved transport capacity of PRT system. Intelligent cooperative control operation scheme is found to reduce the time spent by PRT vehicles to form a virtual formation by 38%, passenger flow per hour is increased 1.5 times. This operation scheme ensures high efficiency and safety of PRT system operation, and meets the needs of low-carbon travel and green development.

Keywords personal rapid transportation system; dynamic knowledge graph; virtual formation; rolling optimization; particle swarm optimization (PSO)

【责任编辑: 陆有忠】