DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260736

交通枢纽出租车场状态研判与V2X动态引导策略研究

晏秀娟
(湖南机电职业技术学院,湖南 长沙 410151)

摘　要： 为提高交通枢纽出租车场运行效率,针对交通枢纽(如高铁站、机场等)出租车场蓄车位紧张、信息不对称、车辆盲目进场导致拥堵等问题,提出一种交通枢纽出租车场状态感知与V2X动态引导方法。通过实时采集出租车场4项核心指标数据,运用模糊综合评价法建立4个等级场站状态分级模型,采用最大隶属度原则判定场站状态,最后基于V2X通信将车场状态与引导建议分层推送给枢纽周边出租车。该方法设计可实现从“场内盲目排队”到“场内外”全时空闭环引导,可为交通枢纽智慧场站建设提供参考。

关键词： 交通枢纽;出租车场;智能网联;V2X;智慧场站
中图分类号： U491　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1009-7716(2026)11-0040-05

Research on Status Analysis of Taxi Stands at Transportation Hubs and V2X Dynamic Guidance Strategies

YAN Xiujuan
(Hunan Mechanical and Electrical Polytechnic, Changsha 410151, China)

Abstract: To improve the efficiency of taxi stands at transportation hubs, and in response to problems such as the shortage of parking spaces in taxi stands at transportation hubs (such as high-speed railway stations, airports, etc.), information asymmetry, and congestion caused by blind vehicle entry, a method for state perception and V2X dynamic guidance of taxi stands at transportation hubs is proposed. By collecting the data of four core indicators of taxi stations in real time, a four-level stand status classification model is established by using the fuzzy comprehensive evaluation method. The maximum membership degree principle is adopted to determine the status of the stands. Finally, based on V2X communication, the stand status and the guidance suggestions are hierarchically pushed to taxis around the hub. The method design can achieve full-time and full-space closed-loop guidance from “blind queuing inside the stand” to “inside and outside the stand”, and can provide a reference for the construction of smart stands at transportation hubs.

Keywords: transportation hub; taxi stand; intelligent network; V2X; smart stand

0　引　言

随着智能网联技术的发展,我国智能网联汽车已进入多场景应用的新阶段[1]。目前,交通枢纽的出租车场存在蓄车位紧张、信息不对称、车辆盲目进场导致拥堵等问题[2],高峰时段蓄车位占用率持续处于高位,车辆排队外溢至市政道路,引发周期性拥堵。利用智能网联技术实现出租车场实时状态感知与动态调度,是建设智慧场站的关键环节[3]。

目前,提高出租车场效率的方案主要集中在出租车场场内设计优化、调度管理和场内电子屏引导等。例如:深圳北站创新性地设计了“人行天桥+多岛”式的接客区,以提升上客效率[4];部分枢纽采用“蓄车-排队-调度-接客”全流程闭环管理方案,通过蓄车区与接客区联动管理、调度和分通道蓄车控制,实现了场内有序调度;多数出租车智能调度系统通过智能引导屏实时显示场站车辆信息和建议信息[5-6]。现有工作多侧重于场站内部调度,缺乏对场外出租车辆的信息引导。

对于交通枢纽出租车系统的研究,主要集中在乘客排队论建模、供需平衡预警等,魏中华等[7]基于排队论对出租车上客区进行优化。吴玉兰等[8]研究了枢纽出租车运输供需匹配度评价的方法。但是,目前针对出租车场站自身运行状态的感知与评价研究相对不足。

收稿日期：2026-07-03
作者简介：晏秀娟(1993—),女,硕士,工程师,从事智能网联汽车技术研究工作。

在 V2X 技术应用方面,V2X 通信已广泛应用于智能网联汽车领域。2025 年,中国 20 个“车路云一体化”应用试点城市已建成超过 8 700 套路侧单元。五部门联合印发通知,明确鼓励对出租车等公共领域存量车进行 V2X 车载终端搭载改造[9]。然而,现有 V2X 应用多集中于信号优先[10]、盲区预警[11]、智慧公交[12]等场景,将其系统性用于交通枢纽出租车场状态发布与动态引导的研究较为少见。

本文提出一种面向交通枢纽出租车场的“状态感知—分级评价—V2X 引导”动态调度方法。通过出入口高清车牌识别相机协同部署,实现 4 项核心指标的实时采集与计算,采用模糊综合评价方法和最大隶属度原则判定场站状态,基于 V2X 通信向枢纽周边出租车推送动态引导信息。

1　出租车场运行特征与评价指标体系

1.1　出租车场运行过程分解

交通枢纽出租车场的运行过程可分解为 3 个连续环节:蓄车排队、上客服务与离场疏散。

蓄车排队阶段,出租车从外围道路驶入场站入口进入蓄车区,按到达顺序排队等候放行。在场站容量达到上限时,车辆在入口处积压,甚至倒灌至外围市政道路。上客服务阶段,蓄车区按批次向旅客上客区放行车辆,乘客登车后车辆驶出上客区。离场疏散阶段,出租车完成上客后离开场站,车辆出场效率受出口通道设置与外围路网疏散能力的制约。

1.2　核心评价指标

根据出租车场运行特征,选取 4 项核心指标对出租车场实时运行状态进行量化评价。

(1)蓄车位占用率 O

$$O = \frac{C_o}{C_t} \tag{1}$$

式中:O 为蓄车位占用率;C_o 表示当前在蓄车场的出租车数量;C_t 表示蓄车区设计的最大可容纳车辆数。

该指标反映当前蓄车场的容量压力,O 越大,说明出租车蓄车场越接近满载状态。

(2)平均排队时长 T_q

平均排队时长 T_q 为车辆从通过场站入口到正式进入上客区的平均时间,反映“出租车等待时间”。

$$T_q = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_{\text{boarding},i} - t_{\text{entry},i} \tag{2}$$

式中:T_q 为平均排队时长,min;$t_{\text{boarding},i}$ 为第 i 辆出租车的进入上客区时刻;$t_{\text{entry},i}$ 为第 i 辆出租车的进入出租车场入口时刻。

(3)平均接客时长 T_s

平均接客时长 T_s 定义为车辆从上客区入口到完成上客并驶离出租车场出口的平均时间。反映“上客区服务效率”。

$$T_s = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} t_{\text{exit},j} - t_{\text{boarding},j} \tag{3}$$

式中:T_s 为平均接客时长,min;$t_{\text{exit},j}$ 为第 j 辆出租车的出场时刻;$t_{\text{boarding},j}$ 为第 j 辆出租车的进入上客区时刻。

(4)乘客排队容量率 L_p

乘客排队容量率 L_p 定义为出租车场排队通道乘客数量与设计可容纳最大乘客数量的比值。反映“乘客端排队压力”。

$$L_p = \frac{P_e}{P_d} \tag{4}$$

式中:L_p 为乘客排队容量率;P_e 为排队通道中的乘客人数;P_d 为排队通道最大可容纳人数。

2　场站状态实时感知方案

2.1　感知硬件部署

感知层采用“入口+出口”双卡口方案,感知硬件部署架构如图 1 所示。在场站入口和出口部署高清车牌识别相机,记录每一辆进场车辆的车牌号与进场时间、离场时间;在上客区入口部署卡口相机,用于记录车辆进入上客区的时间;在乘客排队通道入口及出口处部署双目深度相机,采用过线计数算法[13]记录累计进入排队区域的乘客数量和离开排队区域的乘客数量。

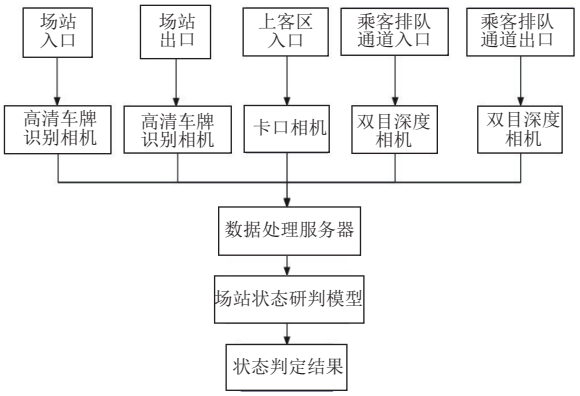


图 1　感知硬件部署架构图

2.2　数据流设计

服务器端通过入口累计计数与出口累计计数的差值实时计算在场车辆数,进而得到蓄车位占用率。通过匹配同一车辆在入口和上客区入口的记录计算平均排队时长,通过匹配同一车辆在上客区入口和

出口的记录计算平均接客时长。通过排队通道入口累计数和出口累计数得到排队区人数。服务器以5 min滑动窗口滚动计算上述4项核心指标,每5 min更新一次场站状态评估结果。

3　场站状态分级模型

3.1　场站状态类型及运行特征

根据出租车场站供需关系和运行瓶颈特征,将场站状态划分为4类(见表1)。

表1　出租车场站4类运行状态及典型特征

状态类型	蓄车位占用率	平均排队时长	平均接客时长	乘客排队容量率	状态解释
出租车不足型	低	短	不高	高	乘客多、出租车少
出租车过剩型	高	长	不高	低	出租车多、乘客少
上客瓶颈型	正常或高	很长	长	高	车和人都有,但上客效率低
均衡稳定型	正常	短	短	低	供需匹配,运行平稳

3.2　指标隶属度函数构建

为避免单一阈值造成状态突变,采用模糊隶属度函数对4个指标进行标准化处理。每个指标被转化为若干个反映运行状态的隶属度。

3.2.1　蓄车位占用率隶属度

出租车场中的蓄车位占用率并非简单的越低越好。占用率指标低,表示出租车储备不足,进而会影响乘客乘车体验;占用率指标过高,表示出租车积压,可能外溢造成场外道路拥堵。因此,将蓄车位占用率划分为“低”、“正常”、“高”3种状态,分别记为:μ_O^{L},μ_O^{N},μ_O^{H}。

其隶属度函数为:

$$\mu_O^{\mathrm{L}}\begin{cases}1\cdots\cdots, O\leqslant 0.5\\ \dfrac{0.6-O}{0.1}\cdots\cdots, 0.5\leqslant O<0.6\\ 0\cdots\cdots, O\geqslant 0.6\end{cases}\tag{5}$$

$$\mu_O^{\mathrm{N}}\begin{cases}0\cdots\cdots, O\leqslant 0.5\\ \dfrac{0.6-O}{0.1}\cdots\cdots, 0.5\leqslant O<0.6\\ 1\cdots\cdots, 0.6\leqslant O<0.8\\ \dfrac{0.9-O}{0.1}\cdots\cdots, 0.8\leqslant O<0.9\\ 0\cdots\cdots, O\geqslant 0.9\end{cases}\tag{6}$$

$$\mu_O^{\mathrm{H}}\begin{cases}0\cdots\cdots, O\leqslant 0.8\\ \dfrac{0.9-O}{0.1}\cdots\cdots, 0.8\leqslant O<0.9\\ 1\cdots\cdots, O\geqslant 0.9\end{cases}\tag{7}$$

式中:μ_O^{L}为蓄车位占用率“低”的隶属度值;μ_O^{N}为蓄车位占用率“正常”的隶属度值;μ_O^{H}为蓄车位占用率“高”的隶属度值;O为蓄车位占用率。

3.2.2　出租车平均排队时长隶属度

将出租车平均排队时长划分为“短”“长”两种状态,分别记为:$\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{S}}$,$\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{L}}$。其隶属度函数为:

$$\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{S}}\begin{cases}1\cdots\cdots, T_{\mathrm{q}}\leqslant 5\\ \dfrac{10-T_{\mathrm{q}}}{5}\cdots\cdots, 5\leqslant T_{\mathrm{q}}<10\\ 0\cdots\cdots, T_{\mathrm{q}}\geqslant 10\end{cases}\tag{8}$$

$$\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{L}}\begin{cases}0\cdots\cdots, T_{\mathrm{q}}\leqslant 10\\ \dfrac{T_{\mathrm{q}-10}}{10}\cdots\cdots, 10\leqslant T_{\mathrm{q}}<20\\ 1\cdots\cdots, T_{\mathrm{q}}\geqslant 20\end{cases}\tag{9}$$

式中:$\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{S}}$为出租车平均排队时长“短”的隶属度值;$\mu_{\mathrm{q}}^{L}$为出租车平均排队时长“长”的隶属度值;$T_{\mathrm{q}}$为出租车平均排队时长。

3.2.3　平均接客时长隶属度

将平均接客时长划分为“短”“长”两种状态,分别记为:$\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{S}}$,$\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}}$。其隶属度函数为:

$$\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{S}}\begin{cases}1\cdots\cdots, T_{\mathrm{s}}\leqslant 4\\ \dfrac{8-T_{\mathrm{s}}}{4}\cdots\cdots, 4\leqslant T_{\mathrm{s}}<8\\ 0\cdots\cdots, T_{\mathrm{s}}\geqslant 8\end{cases}\tag{10}$$

$$\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}}\begin{cases}0\cdots\cdots, T_{\mathrm{s}}\leqslant 6\\ \dfrac{T_{\mathrm{s}}-6}{4}\cdots\cdots, 6\leqslant T_{\mathrm{s}}<10\\ 1\cdots\cdots, T_{\mathrm{s}}\geqslant 10\end{cases}\tag{11}$$

式中:$\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{S}}$为平均接客时长“短”的隶属度值;$\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}}$为平均接客时长“长”的隶属度值;$T_{\mathrm{s}}$为平均接客时长。

3.2.4　乘客排队容量率隶属度

将乘客排队容量率划分为“低”“高”两种状态,分别记为:$\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{L}}$,$\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}}$。其隶属度函数为:

$$\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{L}}\begin{cases}1\cdots\cdots, L_{\mathrm{p}}\leqslant 0.2\\ \dfrac{0.4-L_{\mathrm{p}}}{0.2}\cdots\cdots, 0.2\leqslant L_{\mathrm{p}}<0.4\\ 0\cdots\cdots, L_{\mathrm{p}}\geqslant 0.4\end{cases}\tag{12}$$

$$\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}}\begin{cases}0\cdots\cdots, L_{\mathrm{p}}\leqslant 0.4\\ \dfrac{0.7-L_{\mathrm{p}}}{0.5}\cdots\cdots, 0.2\leqslant L_{\mathrm{p}}<0.7\\ 1\cdots\cdots, L_{\mathrm{p}}\geqslant 0.7\end{cases}\tag{13}$$

式中:$\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{L}}$为乘客排队容量率“低”的隶属度值;$\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}}$为乘客排队容量率“高”的隶属度值;$L_{\mathrm{P}}$为乘客排队容量率。

3.3　4 类场站状态得分函数

在完成指标模糊化后,进一步构建 4 类状态的得分函数。4 类状态分别为出租车不足型、出租车过剩型、上客瓶颈型和均衡稳定型,对应得分记为 S_1、S_2、S_3、S_4。得分越高,说明当前运行特征越接近该状态。

出租车不足型 S_1 的典型特征为场站内出租车储备不足,乘客排队明显,但出租车进入场站后能够较快接客。

出租车过剩型 S_2 状态主要表现为场站内出租车积压较多,出租车等待接客时间较长,而乘客排队压力较小。

上客瓶颈型 S_3 状态主要表现为场站内出租车供给并不短缺,乘客需求也较高,但由于上客泊位周转、乘客组织、行李装载或出口通行等环节效率较低,导致车辆和乘客同时出现等待。

均衡稳定型状态 S_4 表示出租车场站供需关系协调、上客服务效率较高、车辆和乘客等待压力均较小。据此,场站各个状态得分函数定义为:

$$S_1 = (0.4\mu_O^{\mathrm{L}} + 0.25\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{S}} + 0.35\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}})(1 - \mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}} \times \mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}}) \quad (14)$$

$$S_2 = (0.4\mu_O^{\mathrm{H}} + 0.35\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{L}} + 0.25\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{L}})(1 - \mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}} \times \mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}}) \quad (15)$$

$$S_3 = 0.2\mu_O^{\mathrm{A}} + 0.15\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{L}} + 0.35\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}} + 0.3\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}} \quad (16)$$

$$S_4 = 0.35\mu_O^{\mathrm{N}} + 0.25\mu_{\mathrm{q}}^{\mathrm{S}} + 0.2\mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{S}} + 0.2\mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{L}} \quad (17)$$

式中:S_i 表示当前场站运行特征与出租车场状态的匹配程度,各得分取值均处于[0,1]区间,可直接比较;$(1 - \mu_{\mathrm{s}}^{\mathrm{L}} \times \mu_{\mathrm{p}}^{\mathrm{H}})$作为约束因子,用于保证只有在上客服务环节未形成明显瓶颈时,模型才倾向于将该状态识别为出租车不足型;$\mu_O^{\mathrm{A}}=\max(\mu_O^{\mathrm{N}},\mu_O^{\mathrm{H}})$。

3.4　场站状态判定规则

根据前述计算得到的 4 类状态的得分,采用最大隶属度原则输出状态。

$$C = \mathrm{argmax}_{i \in \{1,2,3,4\}} S_i \quad (18)$$

式中:C 为出租车场当前所处的状态类型,$C \in \{1,2,3,4\}$ 分别对应出租车不足型、出租车过剩型、上客瓶颈型、均衡稳定型。

3.5　算例验证

3.5.1　案例数据

为检验模型,以某高铁枢纽出租车场站为对象,选取晚高峰时段 4 个典型时刻的运行指标数据,代入隶属度函数与得分函数进行状态判定。场站蓄车区容量 120 辆,上客泊位 8 个,乘客排队区容量 200 人。4 个时刻的指标数据及预期状态见表 2。

3.5.2　状态得分与判定

根据表 3 可知,4 个时刻的判定结果均与预期状态一致,验证了模型对 4 类典型工况的识别能力。自适应约束因子在 19:20 充分发挥抑制作用,将 S_1 和 S_2 压制为零,成功区分了“上客效率低”与“绝对供给过剩”两种归因路径。

表 2　4 个典型时刻的运行指标与预期状态

时刻	O	T_{q} /min	T_{s} /min	L_{p}	预期状态
18:00	0.52	5.5	3.5	0.15	均衡稳定型
18:20	0.18	1.5	4	0.88	出租车不足型
19:00	0.9	19	5.5	0.28	出租车过剩型
19:20	0.82	16	10.5	0.78	上客瓶颈型

表 3　状态函数得分与判定状态

时刻	S_1	S_2	S_3	S_4	判定状态
18:00	0.558	0.268	0.048	0.708	均衡稳定型
18:20	1	0	0.3	0.45	出租车不足型
19:00	0	1	0.35	0.325	出租车过剩型
19:20	0	0	0.96	0.28	上客瓶颈型

4　基于 V2X 的动态引导策略

4.1　V2X 信息传递手段

利用蜂窝车联网(C-V2X)实现场站状态信息的对外发布[14]。

RSU 广播覆盖已接近场站的车辆,提供即时引导指令。在场站周边关键位置部署 RSU,以 PC5 直连通信方式向覆盖范围内的车载 OBU 周期性广播场站状态消息[15]。广播频率为 1 Hz,消息包含场站当前状态类型及对应的引导建议。OBU 接收后,通过车载人机界面以语音和文字方式提示驾驶员。

导航平台覆盖外围车辆,提供出行前的路径规划参考。场站本地服务器将状态信息实时上传至云端,通过与地图导航服务商的数据接口,将场站状态同步至导航平台。驾驶员在使用导航应用时,可查看场站当前的运行状态及引导建议,从而在驶入场站周边区域前即可调整行驶计划。 V2X 状态发布与动态引导系统架构如图 2 所示。

4.2　4 类状态的差异化引导策略

根据车辆与场站的空间距离,将引导对象划分为 3 个圈层:到达区(距场站入口小于 500 m)、临近区(500 m 至 2 km)、外围区(大于 2 km)。不同状态下各圈层的引导策略见表 4。

5　结　论

针对交通枢纽出租车场站运行中存在的供需信息不对称、车辆盲目进场、高峰期拥堵外溢等问题,提出

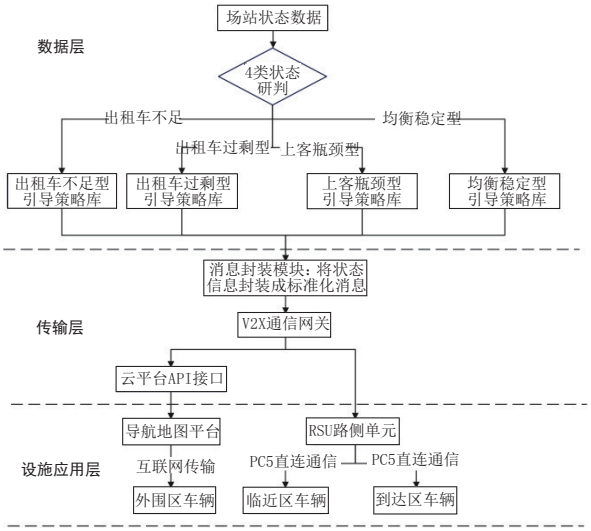


图2　V2X状态发布与动态引导系统架构图

表4　4类状态下分圈层引导指令

状态	到达区	临近区	外围区
出租车不足型	“场站缺车，请立即驶入蓄车区”	“场站缺车，请前往接客”	导航标注“车辆紧缺，建议前往”
出租车过剩型	“场站车满，请驶离，前往备选场站”	“场站车满，请改往备选场站”	导航标注“排队较长，建议避开”
上客瓶颈型	“请驶入蓄车区排队等候，接客时长较长”	“场站接客较慢，请耐心排队等候”	导航标注“上客区繁忙，可正常前往”
均衡稳定型	“场站运行正常，请按秩序排队”	无特殊引导	导航标注“运行正常”

了一种出租车场“状态感知-分级评价-V2X引导”的动态调度方法。该方法为“车路云一体化”应用试点背景下交通枢纽出租车场的智慧化升级提供了参考。

参考文献：

[1] 崔明阳，黄荷叶，许庆，等.智能网联汽车架构、功能与应用关键技术[J].清华大学学报(自然科学版)，2022，62(3)：493-508.

[2] 王辰阳.春节临近，破解交通枢纽打车难需“多管齐下”[N/OL].半月谈网，2024-02-05[2026-07-01].http://www.banyuetan.org/jrt/detail/20240205/1000200033134991707036244044694102_1.html.

[3] 邹娇，赵翔.基于车路协同的城市智慧道路关键技术框架研究[J].城市道桥与防洪，2024(6)：5-8.

[4] 杨永平，宗传苓.深圳北站综合交通枢纽出租车接驳方案研究[J].城市轨道交通研究，2010，13(1)：41-45.

[5] 黄飞，徐春蕾，吴波，等.大型高铁车站旅客及出租车引导系统[J].信息技术与信息化，2021(8)：64-66.

[6] 钱鹏程，朱家明.基于信息智能化的机场出租车供求匹配系统优化[J].高师理科学刊，2020，40(7)：21-25.

[7] 魏中华，王琳，邱实.基于排队论的枢纽内出租车上客区服务台优化[J].公路交通科技(应用技术版)，2017，13(10)：298-300.

[8] 吴玉兰，陈旭蕊，柴娇龙，等.对外客运枢纽出租车接续运输供需匹配度评价方法[J].交通运输研究，2022，8(5)：11-18.

[9] 工业和信息化部，公安部，自然资源部，等.关于开展智能网联汽车“车路云一体化”应用试点工作的通知：工信部联通装〔2023〕268号[EB/OL].(2024-01-15)[2026-07-04].https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2024/art_b236a25edf9f4a8f9b60dbcda924753b.html.

[10] 荣少华，余红艳，王松浩，等.基于C-V2X的公交信号优先控制系统应用研究[J].电子技术与软件工程，2021(16)：8-12.

[11] 刘琪，顾帅，苑广勇，等.基于V2X的公交车盲区预警系统策略及测试验证[J].交通与运输，2023，39(4)：67-71.

[12] 章华金.智能网联公交系统工程设计与应用[J].城市道桥与防洪，2025(5)：1-8.

[13] 林文杰.基于深度学习的人群跨线计数算法研究[D].南京：东南大学，2025.

[14] 陈山枝，葛雨明，时岩.蜂窝车联网(C-V2X)技术发展、应用及展望[J].电信科学，2022，38(1)：1-12.

[15] 付思雨，姜之源，张舜卿.基于C-V2X直连通信的车辆编队行驶性能优化[J].中兴通讯技术，2020，26(1)：30-34.

(上接第22页)

Intelligent Transportation Systems, 2019, 20(12): 4262-4276.

[11] 张洁斐，任刚，唐磊，等.城市多模式交通网络韧性评估研究综述[J].交通信息与安全，2024，42(3)：102-113.

[12] Tang J, Heinimann H, Han K, et al. Evaluating resilience in urban transportation systems for sustainability: A systems-based Bayesian network model[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020, 121: 102840.

[13] 黄建中，胡刚钰，石佳宁，等.城市交通系统的韧性研究：概念、特征与议题[J].城市规划，2025，49(2)：119-130.

[14] 陈长坤，何凡，赵冬月，等.基于系统机能曲线的城市道路公共交通系统韧性评估方法[J].清华大学学报(自然科学版)，2022，62(6)：1016-1022.

[15] 赵荣国，杨锦琛，李洁，等.粤港澳大湾区内地城市群路网韧性的贝叶斯网络评估[J].安全与环境学报，2024，24(3)：825-835.