

## 基于负载预测的车联网信道拥塞控制策略\*

杨 戈<sup>1,2</sup>, 朱永豪<sup>1</sup>

(1.北京师范大学珠海分校 智能多媒体技术重点实验室, 广东 珠海 519087;

2.北京师范大学自然科学高等研究院, 广东 珠海 519087)

**摘 要:** 在车联网中, 过高的车辆密度会造成信道拥塞, 信道拥塞的发生会严重影响协同车辆安全系统的性能。针对此问题, 设计实现了一种基于车联网信道负载预测的拥塞控制策略(Congestion Control Strategy based on Channel Load Prediction, C<sup>2</sup>SLP)。该策略分为 3 个模块, 首先使用载波侦听多址访问协议中的检测功能获取信道闲忙状态进行负载评估, 然后将所得结果代入自回归移动平均模型(Auto Regressive Integrated Moving Average, ARIMA)对下一时刻的信道负载值进行预测, 最后将所得负载预测值与预设的标准值进行比较, 根据对比结果使用功率控制算法调整传输功率, 实现提前避免信道拥塞。仿真实验结果表明, C<sup>2</sup>SLP 将信道占有率稳定在 0.6 左右, 传输时延稳定在 30 ms 左右, 明显优于 UBRCC 算法, C<sup>2</sup>SLP 在控制信道拥塞的同时有效减少传输时延, 确保数据包可靠发送, 满足车辆安全应用需求。

**关键词:** 车联网; 负载评估; 负载预测; 功率控制

**中图分类号:** TN915.03

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16157/j.issn.0258-7998.211996

**中文引用格式:** 杨戈, 朱永豪. 基于负载预测的车联网信道拥塞控制策略[J]. 电子技术应用, 2022, 48(3): 64-67, 72.

**英文引用格式:** Yang Ge, Zhu Yonghao. Congestion control strategy of VANET channel based on load prediction[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(3): 64-67, 72.

## Congestion control strategy of VANET channel based on load prediction

Yang Ge<sup>1,2</sup>, Zhu Yonghao<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Intelligent Multimedia Technology, Beijing Normal University (Zhuhai Campus), Zhuhai 519087, China;

2. Advanced Institute of Natural Sciences, Beijing Normal University, Zhuhai 519087, China)

**Abstract:** In the VANET, excessively high vehicle density will cause channel congestion, and the occurrence of channel congestion will seriously affect the performance of the cooperative vehicle safety system. Aiming at this problem, a C<sup>2</sup>SLP congestion control strategy based on the prediction of vehicle network channel load is designed. The strategy is divided into three steps. Firstly, use the detection function in the carrier-sensing multiple access protocol to obtain the busy and busy status of the channel, and perform load evaluation according to the proportion of the busy time of the channel. Then the obtained results are substituted into the autoregressive moving average model to predict the next channel load value at the moment. Finally the obtained load prediction value is compared with the preset standard value, and the power control algorithm is used to adjust the transmission power according to the comparison result to avoid channel congestion in advance. The simulation experiment results show that this strategy can stabilize the channel occupancy at about 0.6 and the transmission delay at about 30 ms. Compared with the UBRCC algorithm, this strategy can effectively reduce the transmission delay while controlling channel congestion, ensure the reliable transmission of data packets, and meet the requirements of vehicle safety applications.

**Key words:** VANET; load evaluation; load forecasting; power control

## 0 引言

近年来我国汽车总量持续增加, 社会急需建立基于车联网的新型智能交通管理系统。智能交通管理系统能够对当前道路交通状况进行实时监控, 对道路车辆进行交通疏导, 保证车辆驾驶员的行车安全。

目前, 5G 网络基本实现了全面部署, VANET (Vehicle Ad hoc Network) 车联网成为了各国家重点发展方向。2020 年, 欧盟、美国、俄罗斯等都将车联网发展作为国家重点扶持项目, 将车联网全面部署作为国家重大目标。同样地, 我国也已经将车联网作为国家重点发展项

\* 基金项目: 广东高校省级重大科研项目(2019KZDXM015, 2020ZDX3058); 广东省学科建设专项资金(2013WYXM0122); 校级智能多媒体技术重点实验室(201762005); 校级教学团队(202012); 校级课程思政(201932); 2020 年广东省教改项目(655)

目进行研究和推进,正在重点发展车联网的自动驾驶技术和辅助驾驶技术产业化的研究<sup>[1-7]</sup>。

### 1 C<sup>2</sup>SLP 功率控制策略设计与实现

本文提出一种基于信道负载预测的车联网功率控制策略(Congestion Control Strategy based on Channel Load Prediction, C<sup>2</sup>SLP),通过控制车联网数据包传输功率来提前避免信道拥塞的发生。首先进行当前信道负载值的评估,然后将所得当前时刻的信道负载评估值代入差分自回归移动平均模型(Auto Regressive Integrated Moving Average, ARIMA)<sup>[8]</sup>,预测下一时刻的信道负载值,得到预测值后,将其代入功率控制算法。算法将控制传输功率的问题等价替换为调整传输距离的问题,根据预测值调整传输距离,实现信道拥塞控制。整个拥塞控制策略可分为3个模块:信道负载评估模块、基于ARIMA模型的信道负载预测模块、基于负载预测的功率控制调整模块。

#### 1.1 信道负载评估模块

在信道负载评估模块,本文使用带冲突避免的载波侦听多址访问协议的信道检测功能对信道进行感知,根据所得结果计算信道繁忙时间所占比例大小,设KP值为信道繁忙时间占比,以此来判断当前时刻的信道状态。据相关研究表明<sup>[9-15]</sup>,KP值不会因地理环境、车辆密度或数据包大小等参数的不同而出现不同取值,所以KP值可作为一个稳定可靠的评判标准来反映信道负载的评估结果,研究结果表明,当信道繁忙占比值为0.5~0.8时,信道利用率最高,网络资源浪费最少。

繁忙检测过后,协议的信道繁忙检测功能会返回信道繁忙指示值 $\omega_i$ ,忙时值为1,闲时值为0,将检测时间段 $T$ 内的检测结果代入式(1):

$$KP = \frac{\sum_{i=1}^{T/t} \omega_i}{T/t} \quad (1)$$

其中, $\omega_i$ 表示信道繁忙指示值,忙时值为1,闲时值为0; $T$ 为信道检测总时长, $t$ 表示检测间隔时间,取值为1s,则时间间隔 $T$ 内的检测次数为 $T/t$ 。由式(1)可知,值KP表示在 $T$ 内进行 $T/t$ 次检测后计算出的信道繁忙时长所占的比例,KP值越大,信道繁忙时长占比越高,负载越大;反之信道繁忙时长占比越小,负载越小。

#### 1.2 基于ARIMA的信道负载预测模块

信道负载预测部分基于1.1节所得信道负载评估KP值序列,将该序列值代入模型中对下一时刻信道负载值进行预测。ARIMA模型是典型的时间序列预测模型,其对于短时间内网络流量的预测准确性高,适应环境转变迅速,算法复杂度低。

ARIMA模型可分为三部分,其中AR指自回归部分,I指差分的阶数,MA指移动平均部分。本文输入当前时刻负载评估数列值,经过模型公式计算后得到下一时刻的预测时间序列值。

AR自回归模型用于描述当前信道负载值与历史负载值之间的关系,主要用于实现预测部分功能, $p$ 为模型参数, $P$ 阶的自回归过程如式(2)所示:

$$X_t = \mu + \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} + \sigma_t \quad (2)$$

其中, $X_t$ 是当前时刻KP值序列, $\gamma$ 是自相关系数, $\sigma$ 是时刻 $t$ 的误差值, $\mu$ 是常数项。MA移动平均模型主要用于实现误差消除功能,能够有效地消除自回归预测中出现的误差与波动, $q$ 阶移的动平均过程如式(3)所示:

$$X_t = \mu + \sigma_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \sigma_{t-i} \quad (3)$$

I为 $d$ 阶差分,因为车联网的信道负载序列因地理环境、车辆密度或数据包的大小等参数的不同而具有不稳定性,而该模型的参数数据对稳定性的要求较高,所以需首先通过式(4)进行 $d$ 次差分的到平稳的新序列 $Y_t$ 。

$$Y_t = (1-B)^d X_t \quad (4)$$

根据其线性回归的特有性质,可得到模型公式如式(5)所示,以历史序列KP值为参数,将 $Y_t$ 代入式(5)中得到下一时刻信道负载预测值。

$$Y_t = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \cdots + \alpha_p Y_{t-p} + \sigma_t + \theta_1 \sigma_{t-1} + \theta_2 \sigma_{t-2} + \cdots + \theta_q \sigma_{t-q} \quad (5)$$

其中, $c$ 为初始KP值, $\alpha$ 序列为AR模型参数, $\theta$ 序列为MA模型参数, $\sigma$ 序列为误差值。

#### 1.3 基于负载预测的功率控制模块

得到信道负载预测值后,根据下一时刻的负载预测值进行传输功率控制,由于传输功率与传输距离线性相关,传输功率越高则传输距离越远,传输功率越低则传输距离越近。本文根据传输功率的这一特质提出了C<sup>2</sup>SLP算法,将调整传输功率的问题等价转换为调整消息传输距离问题,传输距离控制公式如式(6)所示,主要参数求取过程如式(7)~式(9)所示。

$$S_i(t) = (1-\eta)d_{\text{safe}} + \eta D \quad (6)$$

其中, $S_i(t)$ 为计算所得的最佳传输距离, $\eta$ 为调整因子,需由式(7)求得; $d_{\text{safe}}$ 为最小安全传输距离,需由式(8)、式(9)求得; $D$ 为最大安全传输距离,根据仿真实验要求取600m。

$$\eta = \begin{cases} 1 - \frac{KP_t}{KP^*} & KP_t < KP^* \\ 0 & KP_t > KP^* \end{cases} \quad (7)$$

首先,通过式(7)求得调整因子,其中, $KP^*$ 为预设信道拥塞标准值<sup>[9]</sup>,取值为0.7; $KP_t$ 为预测信道负载大小。

若预测值小于标准值, $\eta$ 根据预测KP值大小进行取值。KP值越高说明拥塞程度越高,则调整因子取较小值;KP值低说明拥塞程度低,则调整因子取较大值;若预测值大于标准值,说明已经发生信道拥塞,直接将调整因子置为0。

车辆最小安全传输距离  $d_{\text{safe}}$  的求取中, 本文考虑了现实中最常见的两种场景, 分别是车辆同向行驶场景和车辆对向行驶场景。

### (1) 车辆同向行驶场景

该场景下, 车辆同方向行驶, 如图 1 所示, 后车为  $A$  车, 前车为  $B$  车。  $\theta_A$  和  $\theta_B$  分别为  $A$  车和  $B$  车的行驶角度, 角度相减取绝对值  $|\theta_A - \theta_B| = \mu$ , 若  $\mu$  值足够小, 则可判定两车同向行驶。该场景最小车距  $d_{\text{safe}}$  求得过程如式(8)所示:

$$d_{\text{safe}} = d_{\min} + v_A t_r + \frac{1}{2} \left( \frac{v_A^2}{a_A} - \frac{v_B^2}{a_B} \right) \quad (8)$$

其中,  $d_{\min}$  为最小可接受车距, 根据仿真实验要求取值为 10 m;  $t_r$  为司机反应时间;  $v_A$  和  $v_B$  为车辆  $A$  和  $B$  的速度;  $a_A$  和  $a_B$  为两车的最大加速度。

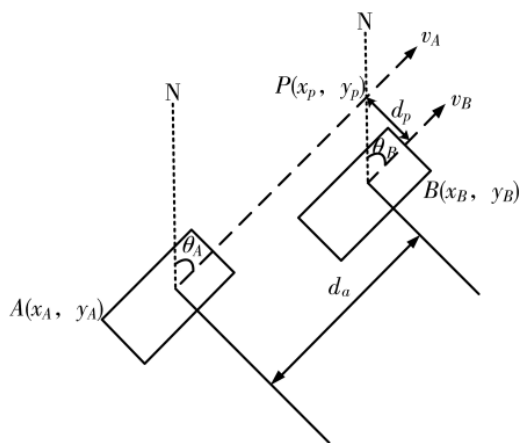


图 1 车辆同向行驶<sup>[12]</sup>

### (2) 车辆对向行驶场景

该场景下, 两车辆对向行驶, 如图 2 所示,  $\theta_A$  和  $\theta_B$  分别为  $A$  车和  $B$  车的行驶角度, 通过  $||\theta_A - \theta_B| - \pi| = \mu$  来判断两车辆所处场景是否属于该场景, 若  $\mu$  的值足够小, 则说明两车为对向行驶, 该场景最小车距  $d_{\text{safe}}$  求得过程如式(9)所示:

$$d_{\text{safe}} = d_{\min} + v_A t_r + \frac{1}{2} \frac{v_A^2}{a_A} + v_B t_r + \frac{1}{2} \frac{v_B^2}{a_B} \quad (9)$$

其中,  $d_{\min}$  为最小可接受车距, 根据仿真实验要求取值为 10 m;  $t_r$  为司机反应时间;  $v_A$  和  $v_B$  为车辆  $A$  和  $B$  的速度;  $a_A$  和  $a_B$  为两车的最大加速度。

由式(7)~式(9)求得主要参数后, 代入式(6)求得最佳传输距离, 通过调整传输距离为  $S_i(t)$  来实现提前调整车辆节点传输功率, 以达到提前避免信道拥塞的效果。

## 2 仿真实验与结果分析

本节通过对比 C<sup>2</sup>SLP 策略和 UBRCC 策略的实验结果进行分析, 分别从传输时延、信道占用率两方面验证算法性能。

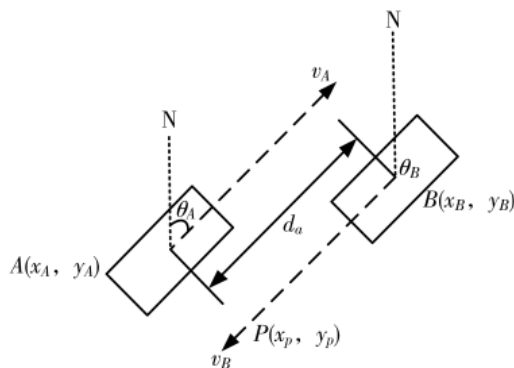


图 2 车辆对向行驶<sup>[12]</sup>

### 2.1 实验环境

实验硬件环境: 处理器 Intel® Core™ i7-6700HQ 2.60 GHz, 8 GB 内存, 硬盘为 Samsung SSD 850 EVO M.2 250 GB, 显卡为 NVIDIA GeForce 960M。

实验软件环境: 操作系统 Microsoft Windows 10 64 位, 集成开发环境 MATLAB, 开发语言为 C 语言, 任务图生成器 tgff-3.5。

本文使用面向对象的网络仿真器 NS2 对算法性能进行检验, 使用 SUMO (Simulation of Urban Mobility) 交通仿真模拟软件构建道路模型<sup>[10]</sup>。

本文利用 SUMO 交通仿真器构建了如图 3 所示的街区仿真拓扑图, 在 NS2 中搭建车联网协议架构, 在应用层对每个车辆节点添加数据分组发送器和接收器; 运输层使用 UDP 用户数据包传输协议; 在网络层使用洪泛协议实现数

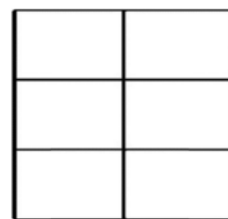


图 3 仿真拓扑图

据包周期性发送; 在数据链路层选择传输速率为 6 Mb/s 的 IEEE802.11P 协议。将功率控制周期设置为 1 s。仿真实验会将 C<sup>2</sup>SLP 拥塞控制策略与 UBRCC 拥塞控制策略在传输时延和信道占用率两方面进行对比和分析。

### 2.2 实验结果分析

基于表 1 和表 2 所列仿真参数, 使用网络仿真器和交通仿真模拟软件对 C<sup>2</sup>SLP 控制策略和 UBRCC 算法进行仿真实验, 通过对比实验结果以验证算法性能。

表 1 仿真参数

参数	值
发送速率/(Mb/s)	4.5
初始传输功率/dBm	80
数据分组大小/B	512
最小可接受车距/m	10
车辆速度/(m/s)	30
车流平均密度	0.2 辆/m~0.4 辆/m

信道占用率的收敛过程如图 4 所示, 两种算法均可有效地控制信道拥塞。在仿真实验初期, 信道占用率随

表 2 算法参数

参数	值
拥塞标准值	0.7
最大安全通信距离 $D_{\max}/\text{m}$	600
算法迭代次数	10

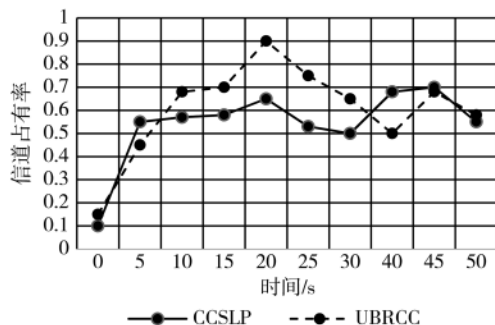


图 4 信道占用率

随着车流平均密度的增加开始稳步上升稳定至 0.6 左右,此时信道资源得到了充分利用。在 20 s 时车辆密度上升,UBRCC 算法虽然有效控制了信道拥塞,但信道占用率在 20 s 时升到了 0.9,发生了信道拥塞,而  $C^2$ SLP 算法通过信道负载预测提前调整传输功率,成功避免了信道拥塞的产生。从图 4 可以看出, $C^2$ SLP 控制策略的稳定性优于 UBRCC 算法,信道资源得到了更充分的利用。

图 5 描述了车辆密度增加时  $C^2$ SLP、UBRCC、固定传输功率的平均消息传输时延。20 s 时车辆密度增加,车联网中的车辆的平均传输时延增加。固定功率的情况下传输时延急剧上升,甚至达到了 160 ms,有功率控制的情况下, $C^2$ SLP 的平均传输时延稳定在 30 ms,始终低于 UBRCC,可看出  $C^2$ SLP 能够确保数据分组的可靠发送和及时传输,满足了车辆的安全需求。

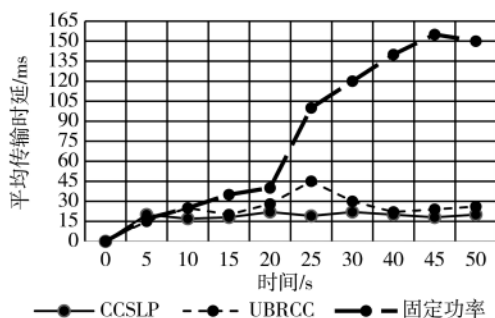


图 5 平均传输时延

### 3 结论

本文提出了  $C^2$ SLP 算法,针对现有可知的准确信道负载值,来预测下一时刻的车联网信道负载概率,根据预测值使用  $C^2$ SLP 拥塞控制策略自适应调整传输功率,消除了现有拥塞控制算法相对被动且具有滞后性的缺点,提前避免了信道拥塞,满足了车联网安全应用的需

要。在保证车辆之间安全距离的同时通过调整传输距离来避免信道资源的紧缺和信道的拥塞。

### 参考文献

- [1] Wu Chensi, Wen Tao, Zhang Yuqing. Revised CVSS-based system to improve the dispersion of vulnerability risk scores[J]. Science China(Information-Sciences), 2019, 62(3): 193-195.
- [2] VEENA S, RUSTAGI R P, MURTHY K N B. Network management and performance monitoring using software defined networks[C]//Proc. of the 20th Annual International Conference on Advanced Computing and Communications. Washington DC: IEEE Computer Society, 2014: 29-31.
- [3] SEPULCRE M, MITTAG J, SANTI P, et al. Congestion and awareness control in cooperative vehicular systems[J]. Proceedings of the IEEE, 2015, 99(7): 1260-1279.
- [4] JO E, PAN DENG, LIU J, et al. A simulation and emulation study of SDN-based multipath routing for fat-tree data center networks[C]//Proc. of Winter Simulation Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2014: 3072-3083.
- [5] WOJCIK R, DOMZAL J, DULINSKI Z. Flow-aware multi-topology adaptive routing[J]. IEEE Communications Letters, 2014, 18(9): 1539-1542.
- [6] 谭国真, 韩国栋, 张福新, 等. 基于网络效用最大化理论的分布式车联网拥塞控制策略[J]. 通信学报, 2019, 40(2): 82-91.
- [7] 莫元富, 于德新, 郭亚娟. 基于灰色关联的车联网信道负载预测算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2016, 46(5): 1453-1457.
- [8] CHANG T. The performance of Grey model and auto-regressive integrated moving average for human resources prediction in china[C]//2019 IEEE International Conference on Computation, Communication and Engineering (ICCCCE), Fujian P.R, China, 2019: 245-248.
- [9] FALLAH Y P, NASIRIANI N, KRISHNAN H. Stable and fair power control in vehicle safety networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(3): 1662-1675.
- [10] 林晓辉, 徐建闽, 魏文钰, 等. 车联网仿真实验平台搭建与参数校正研究[J]. 物流科技, 2020, 43(5): 50-56.
- [11] 王英伟, 马树才. 基于 ARIMA 和 LSTM 混合模型的时间序列预测[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(2): 291-298.
- [12] 白国星, 孟宇, 刘立, 等. 无人驾驶车辆路径跟踪控制研究现状[J]. 工程科学学报, 2021, 43(4): 475-485.
- [13] KARABULUT M A, SHAH A F M S, ILHAN H. OEC-MAC: a novel OFDMA based efficient cooperative MAC protocol for VANETS[J]. IEEE Access, 2020, 8: 94665-94677.
- [14] CHEN J, RAJIB P, CHOI Y J. An efficient neural network-based next-hop selection strategy for multi-hop VANETS[C]//2021 International Conference on Information Networking (ICOIN), Jeju Island, Korea (South), 2021: 699-702.

(下转第 72 页)



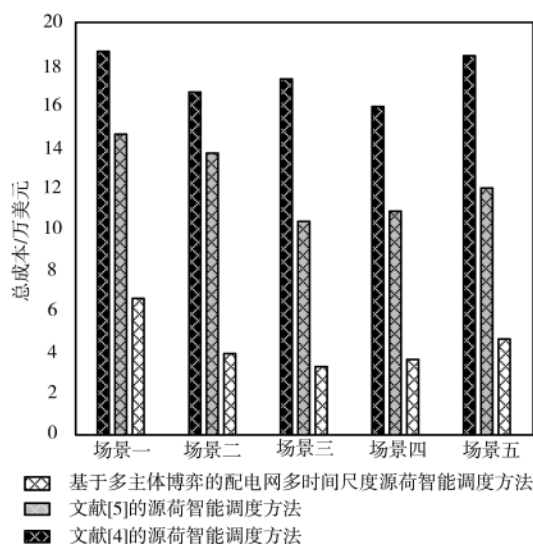


图 5 不同场景中的调度效果

函数,构建了配电网多时间尺度源荷调度模型,实现了配电网多时间尺度源荷的调度。结果显示,本文设计的源荷调度方法具有更好的调度效果。

#### 参考文献

- [1] 林建熙,史俊伟,文福拴,等.计及可控负荷的工业微网源荷协同优化调度[J].电力建设,2018,39(1):1-9.
- [2] 张亚超,刘开培,廖小兵,等.含大规模风电的电力系统多时间尺度源荷协调调度模型研究[J].高电压技术,2019,45(2):600-608.
- [3] 李恺,谭海波,郭光,等.面向现代工业园区“源-荷”互动调度策略的研究[J].湖南电力,2020,40(3):12-16.
- [4] 宁月,胡志坚,林伟伟,等.基于博弈论的“源-网-荷”多主体利益协调互动的 ADN 分层规划[J].电力科学与技术学报,2021,36(1):63-72.
- [5] 彭春华,张金克,陈露,等.计及差异化需求响应的微电网源荷协调优化调度[J].电力自动化设备,2020,40(3):1-7.
- [6] 隋鑫,卢盛阳,苏安龙,等.基于电转气技术的核电调峰

源荷互动优化调度方法[J].电力系统及其自动化学报,2020,32(5):69-77.

- [7] 朱丹丹,刘文颖,胡阳,等.考虑 LA 灵活度的荷源调度方法[J].现代电力,2019,36(2):49-55.
- [8] 范懿,黄继刚,李能,等.考虑源荷互动的电力系统多目标优化调度[J].电网与清洁能源,2018,34(9):31-38.
- [9] 赵冬梅,殷加玖.考虑源荷双侧不确定性的模糊随机机会约束优先目标规划调度模型[J].电工技术学报,2018,33(5):1076-1085.
- [10] 陈志杰,李凤婷,赵新利,等.考虑源荷特性的双层互动优化调度[J].电力系统保护与控制,2020,48(1):135-141.
- [11] 陈美福,夏明超,陈奇芳,等.主动配电网源-网-荷-储协调调度研究综述[J].电力建设,2018,39(11):109-118.
- [12] 吉兴全,张广伟,刘志鹏,等.考虑抽水蓄能及电网运营成本源荷协调优化调度[J].水电能源科学,2019,37(3):191-195.
- [13] 张明理,潘霄,侯依昕,等.计及风电消纳的源-荷-储环保经济型调度策略[J].可再生能源,2019,37(9):1295-1302.
- [14] 黄鹏翔,周云海,徐飞,等.基于灵活性裕度的含风电电力系统源荷协调滚动调度[J].中国电力,2020,53(11):78-88.
- [15] 宫娅宁,秦红,付洪斌,等.考虑源荷不确定性的光伏发电系统优化调度策略[J].电力科学与技术学报,2019,34(2):112-118.

(收稿日期:2021-08-04)

#### 作者简介:

唐俊刺(1985-),通信作者,男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统运行控制,E-mail:

tangjunci66888@163.com。

李铁(1979-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统运行控制。

皮俊波(1984-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统运行控制。



扫码下载电子文档

(上接第 67 页)

- [15] ABOUT A, TOUATI H, HNIC B. Handover optimization for VANET in 5G networks[C]//2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference(CCCN), Las Vegas, NV, USA, 2021:1-2.

(收稿日期:2021-08-01)

#### 作者简介:

杨戈(1974-),男,博士,副教授,主要研究方向:人工智能技术、网络智能化技术、车联网技术。

朱永豪(1999-),男,本科,主要研究方向:无线通信网络。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所