



车联网中路边设施的分布式调度策略的研究

摘要

为了降低碳排放量和部署成本,利用太阳能给车联网路边设施(Road Side Unit,RSU)供电是一个可行的方法.本文针对太阳能供电的RSU,提出了两个分布式的在线调度策略,旨在最大化服务车辆数.在基于Markov链的调度策略中,采用Markov链表述RSU能量状态,并通过对动作的奖励最大化服务的车辆数;在基于阈值的调度策略中,RSU计算服务车辆时所消耗的能量,并结合自己的能量状态,选择服务的车辆.仿真结果表明,本文提出的在线调度策略增加了服务车辆数.

关键词

车联网;路边设施;绿色能源;在线调度;Markov链;阈值

中图分类号 TP393

文献标志码 A

0 引言

车联网(Vehicular Ad Hoc Networks,VANETs)已成为智能交通系统(Intelligent Transportation System,ITS)的重要组成部分^[1-2].在VANETs(图1)中,车辆通过安装车载设备(On-Broad Units,OBUs)^[3-4]与其他车辆和路边设施(Road Side Unit,RSU)进行通信,其中车与车之间通信简称为V2V通信,车与RSU通信简称为V2I通信.

RSU在VANETs中起重要作用.在V2V通信中,RSU为其覆盖范围内的车辆提供通信服务,包括转发消息或者起网关作用,为其覆盖范围内的车辆接入外网.通过RSU转发消息,提高了车辆从外网获取消息的成功率.

若采用有线电网给RSU供电,并沿路部署RSU,这将耗资巨大,不易实现.为此,绿色能源供电成为一个可考虑的选择.由于RSU能够采集的能量有限,需采用有效的调度策略,合理地选择服务的车辆,进而提高RSU能量的利用率.

因此,为RSU设计有效的调度策略是提高RSU能量利用率的关键.文献[5]提出一种RSU的调度策略,但不是针对绿色能源供电场景.文献[6]提出一种新的RSU部署策略,其RSU由电网和太阳能共同供电;同时,该策略还引用了休眠模式,即当RSU无需工作时,就进入休眠状态,降低能耗.文献[7]为了减少RSU的电能消耗,研究了开/关的休眠周期.文献[8]考虑绿色能源给RSU供电问题,并研究了在满足一定约束条件下最大化RSU服务的车辆数问题.

本文针对太阳能供电的RSU服务车辆的调度问题进行研究,并提出基于Markov链和基于阈值的两个在线调度策略,提高了RSU服务的车辆数.

1 系统模型

1.1 网络模型

考虑双车道的单向道路场景,如图2所示.车辆进入路段服从均值为 λ 的泊松分布.令 V 表示 N 辆车构成的车辆集($V = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_N\}$),这些车辆随机分布于路段上;令 \mathfrak{N} 表示部署于路旁的 M 个RSU集($\mathfrak{N} = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$).

每辆车在道路上的行驶速度服从在 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 区间的截断常态分布(Truncated Normal Distribution,TND).每辆车向RSU请求的数据大

收稿日期 2021-01-27

资助项目 国家自然科学基金(62072249)

作者简介

顾伟,男,硕士,高级实验师,研究方向为模式识别、人工智能、数据挖掘以及信息安全.
hbyu_89uh@yeah.net

¹ 南京信息工程大学 计算机与软件学院,南京,210044

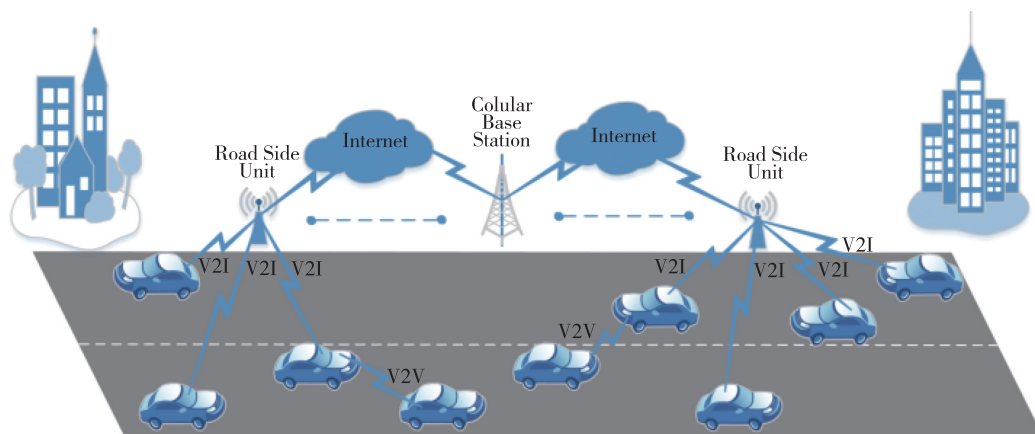


图1 VANETs 结构

Fig. 1 Structure of VANETs

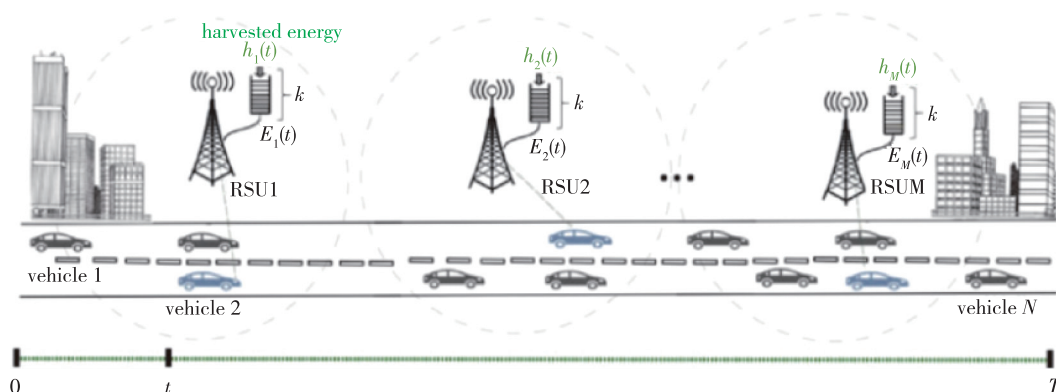


图2 单向道路场景

Fig. 2 One-way road scenario

小为在 $[D_{\min}, D_{\max}]$ 区间的均匀分布随机变量.

RSU 仅由绿色能源供电. 令 $h_r(t)$ 表示第 r 个 RSU R_r 在时隙 t 采集的能量, 其中 $r=1, 2, \dots, M$. 假定采集的能量为太阳能. 令 k_r 表示 R_r 的电池容量. RSU 利用电池存储所采集的能量. 令 $E_r(t)$ 表示 R_r 的电池在时隙 t 的能量状态. 对于任意时刻, R_r 所采集的能量和电池所存储的能量之和不大于其电池容量, 即: $h_r(t) + E_r(t) < k_r$.

1.2 通信模型

仅考虑 RSU 向车辆传输的下行链路. 将时间细分为多个时隙, 每个 RSU 为其覆盖范围内的车辆分配一个时隙. 车辆在所分配的时隙内行驶并通信. 令 I 表示可用的时隙集, 每个时隙的时长为 τ .

当车辆在道路上行驶时, 车辆向其最近的 RSU 发送数据请求消息. 该消息包含车辆的行驶速度和位置信息. 每个 RSU 依据车辆的移动信息计算通信能量成本, 并据此给该车辆分配最佳时隙, 进而最小

化能量消耗.

假定 RSU 与车辆间通信链路服从对数距离路径损耗模型^[9]. 依据式 (1) 计算 R_r 与车辆 ϑ_i ($i=1, 2, \dots, N$) 的能量成本 $C_r(i, t)$:

$$C_r(i, t) = P_{tx}(r, t) \cdot \tau = \frac{P_{rx}(i, t) \cdot \tau}{P_{d_0} \left[\frac{d_0}{d_r(i, t)} \right]^\gamma} = \frac{N_0 (2^{\frac{D}{B}} - 1) \cdot \tau}{P_{d_0} \left[\frac{d_0}{d_r(i, t)} \right]^\gamma}, \quad (1)$$

式中: P_{tx} 表示 R_r 在时隙 t 的传输功率; $P_{rx}(i, t)$ 表示车辆 ϑ_i 在时隙 t 的接收功率; d_0 表示参考距离; $d_r(i, t)$ 表示 R_r 与车辆 ϑ_i 在时隙 t 的距离; γ 表示路径衰减指数; B 表示信道的带宽; N_0 表示噪声功率; P_{d_0} 表示在参考距离时的路径损耗; D 表示数据率.

2 分布式在线调度策略

本文提出两种在线调度策略: 基于 Markov 链的

调度策略和基于阈值的调度策略.

2.1 基于 Markov 链的调度策略

基于 Markov 链的调度策略旨在使多个 RSU 间的能源管理行为一致.每个 RSU 依据其现有的能量和所采集的能量数据,并结合与车辆通信所消耗的能量数据,决定服务于哪辆车.

受文献[10]的启发,采用离散状态 Markov 链捕获 RSU 可采集能量的变动性和 RSU 将消耗的能量.先对 RSU 所采集的能量进行统计,再构建控制下行链 RSU 通信的查询表.查询表存储了 RSU 应该采取的最优动作.

用有限状态 Markov 链表述 RSU 能量状态.每个状态由一个二元组表示.具体而言,用二元组 $\langle h_r(t), E_r(t) \rangle$ 表示 R_r 的能量状态,其中 $h_r(t)$ 表示 R_r 所采集的能量, $E_r(t)$ 表示 R_r 目前电池所存储的能量.

若 R_r 采取了动作 $\alpha_r(t)$,则 R_r 的能量状态从 $\langle h_r(t), E_r(t) \rangle$ 转变为状态 $\langle h_r(t+1), E_r(t+1) \rangle$ 的转换概率为

$$P_{\langle h_r(t+1), E_r(t+1) | \langle h_r(t), E_r(t) \rangle \rangle}(\alpha_r(t)) = P\{h_r(t+1) | h_r(t)\} \times P\{E_r(t+1) | E_r(t), h_r(t), \alpha_r(t)\}, \quad (2)$$

式中: $\alpha_r(t)$ 表示 R_r 在时隙 t 所采集的动作,若 $\alpha_r(t)$ 为零,表示 R_r 为了保存能量,不为车辆提供服务.

2.1.1 能量采集模型

由于在线调度策略要实时地决策服务的车辆,因此需预测在观察时间内 RSU 可以采集的能量.本文采用文献[11]的能量预测(采集)模型.该模型通过历史能量数据估计在未来可能采集的能量.对 RSU 采集的能量进行限定 ($[0, h_{\max}]$), h_{\max} 表示 RSU 可采集的最大能量,具体内容可参见文献[11].

2.1.2 电池的能量状态

RSU 电池能量的状态转换取决于与车辆通信时消耗的能量和所采集的能量.在每个时隙,RSU 需要估计与车辆通信所消耗的能量.为了简化表述,将每个 RSU 的覆盖区域划分为 5 个层次 (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5),如图 3 所示.

令 C_i 表示 RSU 服务区域 Z_i 内车辆所消耗的能量,其中 $i=1, 2, 3, 4, 5$. C_i 的值可以通过式(1)进行计算.在每个时隙,RSU 优化给最远的区域 (Z_5) 进行服务.

2.1.3 调度策略

调度策略旨在优化 RSU 通信,使其在避免能量消耗殆尽的基础上最大化 RSU 服务的车辆数.

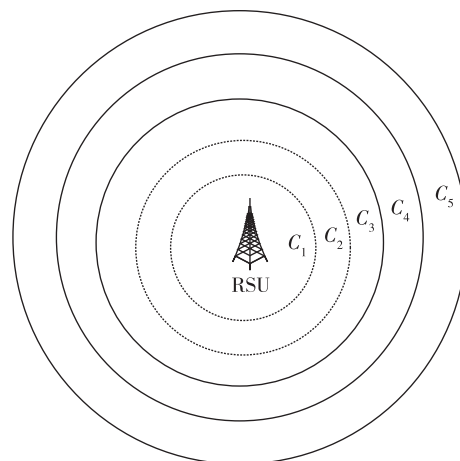


图 3 RSU 覆盖区域的层次划分

Fig. 3 Hierarchical division of RSU coverage

为了最大化服务车辆数,对动作 $\alpha_r(t)$ 进行奖励.如果 R_r 能够与车辆通信,则 $\kappa(\alpha_r(t)) = 1$;若不能通信,则 $\kappa(\alpha_r(t)) = 0$.在整个观察时间 T 内,最大化服务车辆数就等价于获取最大的奖励.为此,建立目标函数:

$$\max_{\alpha} \sum_{i=t}^T E(\kappa(\alpha_r(t))), \quad (3)$$

式中: $E(\cdot)$ 表示期望函数.

利用文献[12]的逆向归纳法 (Backward Induction) 求解式(3).令 $K(h_r(t), E_r(t))$ 表示从时隙 t 至时隙 T 期望所获取的最大奖励,其定义如式(4)和式(5)所示:

$$K(h_r(T+1), E_r(T+1)) = 0, \quad (4)$$

$$K(h_r(t), E_r(t)) = \max_{\alpha} \left\{ \kappa(\alpha_r(t)) + E(K(h_r(t+1), E_r(t+1))) \right\}. \quad (5)$$

将最大化 $K(h_r(t), E_r(t))$ 的动作存储于查询表中.当通信状态和转换概率发生变化时,就更新此查询表.一旦完成了查询表的构建,RSU 就依据查询表选择所实施的动作.

2.2 基于阈值的调度策略

基于阈值的调度策略是依据服务于车辆所消耗的能量和 RSU 现存储的能量信息进行调度的.与基于 Markov 链的调度策略类似,基于阈值的调度策略仍假定在观察时间内,RSU 能够预测其所采集的能量.

具体而言,假定在时隙 t ,有 n 辆车向 R_r 请求服务.令 $v_r = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n\}$ 表示这 n 辆车所构建的车辆集.不失一般性,假定车辆 ϑ_i 是 v_r 集内的任意一车辆,即 $\vartheta_i \in v_r$. R_r 先计算服务于车辆 ϑ_i 时的能量

补偿因子 $\lambda_{r,i}(t)$:

$$\lambda_{r,i}(t) = \frac{1 - \varphi_r(i, t)}{H_{av}^+}, \quad (6)$$

式中 $\varphi_r(i, t)$ 表示 R_r 服务于车辆 ϑ_i 后剩余的能量与 RSU 总的电池容量之比,其定义如式(7)所示:

$$\varphi_r(i, t) = \frac{E_r(t) - C_r(i, t)}{k_r}, \quad (7)$$

式中: $E_r(t)$ 表示 R_r 现有的能量; $C_r(i, t)$ 表示 R_r 服务于车辆 ϑ_i 所消耗的能量; k_r 表示 R_r 的电池容量.

式(6)中的 H_{av}^+ 表示 R_r 在观察时间 T 内采集能量的平均值与 k_r 的比值,其定义如式(8)所示:

$$H_{av}^+ = \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T h_r(t) \right) / k_r. \quad (8)$$

一旦计算了能量补偿因子 $\lambda_{r,i}(t)$, R_r 就构建可服务车辆的候选集 S_r . 若服务车辆 ϑ_i 所消耗的能量 $C_r(i, t)$ 小于 R_r 所存储的能量,即 $C_r(i, t) \leq E_r(t)$, 就将车辆 ϑ_i 加入 S_r , 即 $S_r = S_r \cup \vartheta_i$. 然后, 依据 S_r 内车辆的能量补偿因子是否小于阈值 ε , 将 S_r 划分两个子集. 对于任意车辆 $\vartheta_k \in S_r$, 如果 $\lambda_{r,k}(t)$ 小于 ε , 则车辆 ϑ_k 划入 S_r^+ 集, 否则车辆 ϑ_k 划入 S_r^- 集. 最后, 将 S_r^+ 集内的具有最小 $\lambda_{r,k}(t)$ 的车辆作为 R_r 服务的车辆. 图4给出了基于阈值的调度策略的执行流程.

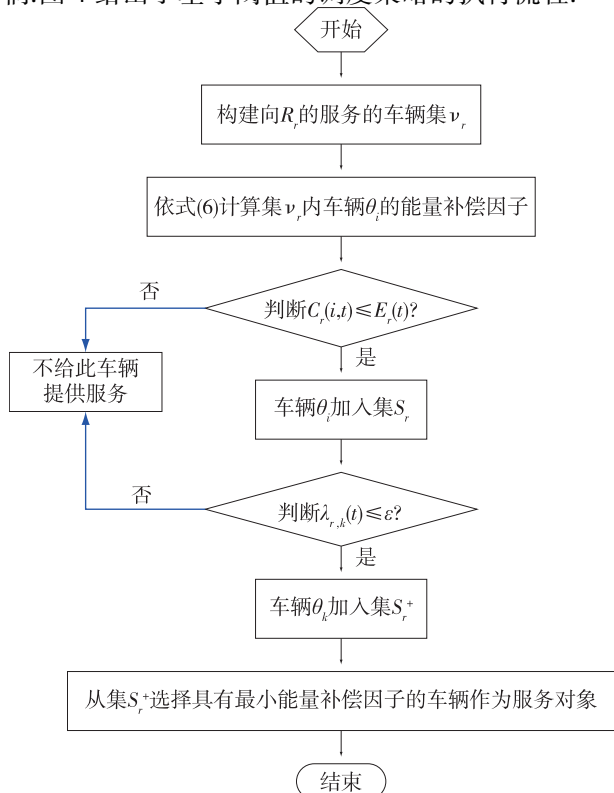


图4 基于阈值的调度策略的执行流程

Fig. 4 Execution flow of threshold-based scheduling strategy

3 性能分析

3.1 仿真环境

在 Windows 7 操作系统, 8 GB 内存, core i7 CPU 的 PC 上进行实验仿真. 道路长度 2 km, 采用双向四车道, 每个车道方向上部署 3 个 RSU ($M=3$), 每个 RSU 的覆盖半径为 400 m. RSU 的电池容量 $k_r=100$ 能量单位 (Units of Energy, UE), $h_{\max}=10$ UE. 具体的仿真参数如表 1 所示.

本文将对基于 Markov 链的调度策略、基于阈值的调度策略和文献[8]算法进行对比分析. 为了简化表述, 将基于 Markov 链的调度策略、基于阈值的调度策略和文献[8]算法分别标记为 Markov-Scheduling、Threshold-Scheduling 和 Reference-[8] 进行比较, 分析它们的服务车辆数性能. 选择服务车辆数百分比作为性能指标, 且服务车辆数百分比等于服务的车辆数与总的车辆数之比.

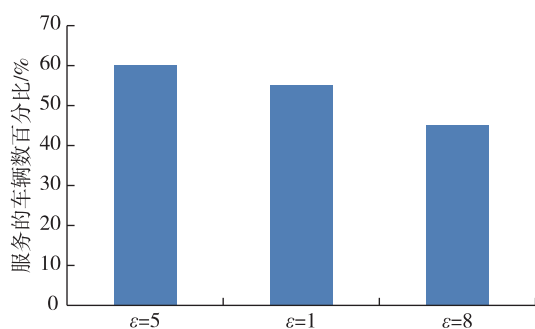
表1 仿真参数

参数	值
道路长度/m	2 000
部署的 RSUs 个数 (M)	3
RSU 覆盖的半径/m	400
RSU 可采集的最大能量 (h_{\max})/UE	10
RSU 电池最大容量 (k_r)/UE	100
车辆行驶速度范围 (v_{\min}, v_{\max})/(m/s)	[15, 35]
平均车辆到达率 (λ)/(辆/s)	1~3
车辆请求的数据尺寸 (D)/bits	10^6
信道带宽 (B)/MHz	10
路径衰落指数 (γ)	3
参考距离 (d_0)/m	1
参考距离下的路径损耗 (P_{d_0})	1
接收端的噪声功率 (N_0)/mW	1

3.2 阈值 ε 的选取

图5给出了阈值 ε 对 Threshold-Scheduling 策略的服务车辆数的影响. 考虑到 RSU 覆盖半径和 RSU 电池的容量, 只能有效地覆盖几辆车, 所以, ε 取值 1, 5 和 8 进行仿真.

大的阈值允许 RSU 服务更多车辆, 即使它们有高的能量成本, 但是当服务车辆数越多, RSUs 的能耗速度就越快. 相反, 小的阈值限制了 RSU 服务的车辆数. 从图5可知, 相比于 $\varepsilon=1$ 和 $\varepsilon=8$, $\varepsilon=5$ 时 RSU 服务于车辆数最多. 因此, 在后续仿真实验中, $\varepsilon=5$.

图5 阈值 ε 的设置Fig. 5 Setting of the threshold ε

3.3 参数 λ 对服务的车辆数百分比的影响

图6显示了服务的车辆数百分比随 λ (平均车辆到达率)的变化情况,其中 λ 在1~3辆/s变化.从图6可知,服务的车辆数随 λ 的增加而下降.因为 λ 越大,道路上的车辆数越多.在RSU数量不变($M=3$)的情况下,车辆获取RSU服务的机会越少,相应地服务的车辆数百分比就随之减少.

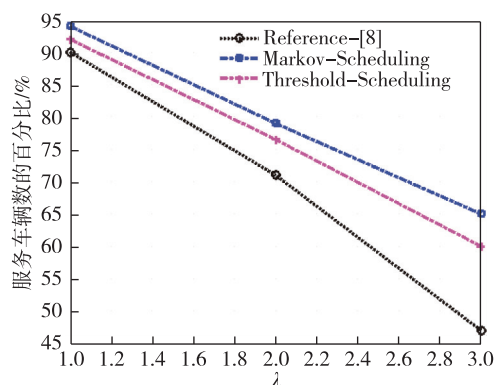
图6 服务的车辆数百分比随参数 λ 的变化情况

Fig. 6 Impact of traffic density on the percentage of served vehicles

图6还显示, Markov-Scheduling 和 Threshold-Scheduling 的服务车辆数百分比均高于 Reference-[8]. Reference-[8]算法旨在降低RSU消耗的功率,它更倾向于选择离RSU近的车辆进行服务,这就使得离RSU远的车辆得到服务的概率下降.

3.4 车辆行驶速度对服务的车辆数百分比的影响

图7为车辆行驶速度对服务的车辆数百分比的影响,其中车辆的平均速度为15~35 m/s.从图7可知,平均速度增加,服务的车辆数百分比呈下降趋势.因为车速越大,网络拓扑变化越快,RSU服务的车辆的时间越短.相比于Reference-[8]算法, Markov-Scheduling 和 Threshold-Scheduling 算法的优

势并不明显.因为 Markov-Scheduling 和 Threshold-Scheduling 算法在选择服务车辆时,并没有优先服务车速快的车辆.

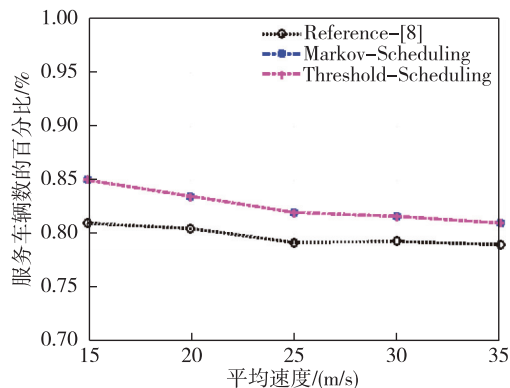
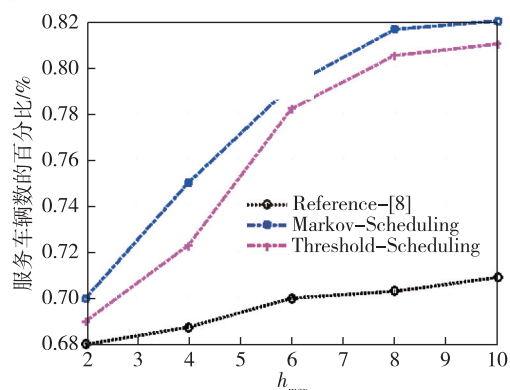


图7 平均车速对服务车辆数百分比的影响

Fig. 7 Impact of average velocity on the percentage of served vehicles

3.5 参数 h_{\max} 对服务车辆数百分比的影响

图8给出了 h_{\max} 对服务车辆数百分比的影响.从图8可知, h_{\max} 越大,服务车辆数百分比也越大.因为 h_{\max} 的增加,使RSU的电池电量保持较充足的概率增加,它可以服务的车辆数就越大.

图8 h_{\max} 对服务车辆数百分比的影响Fig. 8 Impact of h_{\max} on the percentage of served vehicles

此外,相比于Reference-[8], Markov-Scheduling 和 Threshold-Scheduling 随 h_{\max} 变化的波动较大. h_{\max} 越大, Markov-Scheduling 策略和 Threshold-Scheduling 策略的服务车辆数百分比的优势越明显.

4 结语

RSU的能量消耗直接影响部署RSU的成本.本文针对面向太阳能供电的RSU,提出两个分布式的在线调度策略.该调度策略最大化了服务的车辆数.

仿真结果表明,提出的两个分布式在线调度策略能够增加服务的车辆数.本文仅针对简单场景进行分析,在仿真阶段,也仅考虑了 2 km 的道路.后期将进一步优化所提出的调度策略,使其适用于复杂场景.

参考文献

References

- [1] 郭戈,许阳光,徐涛,等.网联共享车路协同智能交通系统综述[J].控制与决策,2019,34(11):2375-2389
GUO Ge, XU Yangguang, XU Tao, et al. A survey of connected shared vehicle-road cooperative intelligent transportation systems [J]. Control and Decision, 2019, 34 (11): 2375-2389
- [2] 罗涛,李俊涛,刘瑞娜,等.VANET 中安全信息的快速可靠广播路由算法[J].计算机学报,2015,38(3):663-672
LUO Tao, LI Juntao, LIU Ruina, et al. A fast and reliable broadcast routing algorithm for safety related information in VANET [J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38 (3): 663-672
- [3] 段明磊,肖强,罗春燕,等.公路联网 ETC 系统 OBU 设备检测方法探析[J].中国交通信息化,2018(2):113-116
DUAN Minglei, XIAO Qiang, LUO Chunyan, et al. Analysis of OBU device detection method in highway networking ETC system [J]. Transportation Information Industry, 2018(2): 113-116
- [4] 张永棠.高速公路场景下车载网路侧单元部署研究[J].应用科技,2018,45(6):59-62
ZHANG Yongtang. Research on RSU deployment scheme for highway in VANETs [J]. Applied Science and Technology, 2018, 45(6): 59-62
- [5] Li P, Liu Q, Huang C H, et al. Delay-bounded minimal cost placement of roadside units in vehicular ad hoc networks [C] // 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC). June 8-12, 2015, London, UK. IEEE, 2015: 6589-6594
- [6] Wu T J, Liao W, Chang C J. A cost-effective strategy for road-side unit placement in vehicular networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2012, 60 (8): 2295-2303
- [7] Vageesh D C, Patra M, Murthy C S R. Joint placement and sleep scheduling of grid-connected solar powered road side units in vehicular networks [C] // 2014 12th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt). May 12-16, 2014, Hammamet, Tunisia. IEEE, 2014: 534-540
- [8] Ali Q I. Event driven duty cycling: an efficient power management scheme for a solar-energy harvested road side unit [J]. IET Electrical Systems in Transportation, 2016, 6(3): 222-235
- [9] 李延峰.对等网络安全通信监测程序误码检测仿真[J].计算机仿真,2018,35(12):216-219,362
LI Yanfeng. Simulation of error detection for peer-to-peer network security communication monitoring program [J]. Computer Simulation, 2018, 35(12): 216-219, 362
- [10] Dang N, Valentini R, Bozorgzadeh E, et al. A unified stochastic model for energy management in solar-powered embedded systems [C] // 2015 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD). November 2-6, 2015, Austin, TX, USA. IEEE, 2015: 621-626
- [11] Cammarano A, Petrioli C, Spenza D. Online energy harvesting prediction in environmentally powered wireless sensor networks [J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16 (17): 6793-6804
- [12] 杜鹏.面向策略式消费者的创新产品定价问题研究[D].天津:南开大学,2014
DU Peng. Optimal pricing of innovative product facing strategic consumers [D]. Tianjin: Nankai University, 2014

Distributed scheduling strategies for RSUs in VANETs

GU Wei¹ REN Yongjun¹

¹ School of Computer & Software, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Using renewable energy to power Road Side Units (RSUs) is a desirable alternative, since it lowers both the carbon footprint and the cost of deployment. Therefore, for renewable energy RSUs, two online distributed scheduling strategies are proposed in this paper to maximize the number of served vehicles. In the Markov chain-based scheduling strategy, the energy state of RSUs is expressed by Markov chain, and the number of served vehicles is maximized by rewarding action. While in the threshold-based scheduling strategy, the harvested energy in RSUs as well as the energy consumed by serving vehicle is calculated to select the number of served vehicles. Simulation results show that the proposed online scheduling strategies increase the capacity of serving vehicles.

Key words vehicular ad hoc networks (VANETs); road side unit (RSU); green energy; online scheduling; Markov chain; threshold