

文章编号: 2095-4980(2020)05-0837-05

车载网络中的数据分发策略

张 驰

(河南财经政法大学 计算机与信息工程学院, 河南 郑州 450046)

摘要: 通过车载网络(VANETs)能够有效提高交通管理系统(TMS)的数据传输。然而, 由于通信距离短以及车辆的移动, 完成 VANETs 中的数据分发是一项挑战任务。为此, 提出基于复杂网络指标的数据分发(MCDD)策略。MCDD 策略依据二跳邻居的信息, 并通过介数中心性和度中心性两项性能指标选择转发节点, 进而降低开销和缩短传输时延。仿真结果表明, 相比于基于区划分的全-分布式流量管理系统(FTMS), MCDD 策略的交通拥塞时间缩短了约 48.95%, 平均行驶速度提高了约 8%。

关键词: 数据传输; 车载网络; 介数中心性; 度中心性; 割点

中图分类号: TN915.03; TP393.03 **文献标志码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA2019199

Data dissemination scheme for Vehicular Ad Hoc Networks

ZHANG Chi

(Computer and Information Engineering College, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou Henan 450046, China)

Abstract: Traffic Management System(TMS) is proposed to improve the traffic efficiency and minimize traffic congestion problems. Such applications are supported by Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). However, the data dissemination in VANETs is a challenging task due to the short-range communication and node mobility. Therefore, Metrics of Complex Networks based Data Dissemination (MCDD) scheme is proposed in this paper. In MCDD scheme, each vehicle has contextual knowledge of 2-hop neighbor to select the relay node based on two complex networks metrics, the betweenness centrality and degree centrality, in order to decrease the overhead and delay. Compared with Fully-distributed Traffic Management System(FTMS) based on districts, vehicle traffic congestion time of MCDD scheme is reduced by 18.11%, and the speed of vehicle is increased by 8%.

Keywords: data dissemination; Vehicular Ad Hoc Networks; betweenness centrality; degree centrality; cutting vertex

随着家庭小汽车的普及, 城市交通日益拥塞。对有效的交通管理系统(TMS)^[1]能最大化交通设施的作用, 缓解拥塞, 减少财产损失。实时 TMS 应用能够有效地分发数据, 包括道路拥塞、行驶车辆速度以及车辆位置等数据。而车载网络(VANETs)^[2]给 TMS 应用提供消息传输平台。VANETs 利用车间通信(Vehicle-to-Vehicle, V2V)、车与设施间(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)的通信, 完成数据的传递。Souza 等^[3]提出基于区划分的全-分布式流量管理系统(FTMS)。FTMS 将道路区域划分为不同子区域, 再将每个区域信息收集、融合。FTMS 先融合同一个子区域内的流量信息, 再向外传输。具体而言, 最靠近子区域中心的车辆必须分发融合后的信息, 而子区域内的其他车辆收集信息。然后, FTMS 交互每个子区域的信息, 进而掌握全局区域信息。但是, 子区域划分以及同一个子区域的融合非常困难。首先需界定信息是否属同一个子区域, 然后再进行融合, 这增加了系统开销以及数据传输时延。然而, TMS 应用中数据的传输需满足低时延、低开销特点。现存 TMS 的数据传输方案采用周期分发策略, 其增加了通信开销。泛洪是向邻居节点快速分发数据的有效方式^[4]。泛洪易于实现, 在稀疏网络具有较好的数据传输效率, 但在节点密集网络, 泛洪极大地增加了网络开销, 易形成广播风暴^[5]。

收稿日期: 2019-06-03; 修回日期: 2019-08-21

基金项目: 河南省科技攻关项目资助(182102210021); 河南省高等学校重点科研项目资助(18A520014)

作者简介: 张 驰(1981-), 男, 硕士, 实验师, 主要研究方向为人工智能。email:zhangchi2006@163.com

由于车辆的移动, VANETs 网络拓扑结构具有动态性变化。据此, 现存的数据传输策略不是简单地采用泛洪策略, 而是依据一跳邻居信息选择转发节点, 再由所选择的转发节点完成数据的传输。而通过与邻居节点接触, 可获取邻居节点的相关信息^[6]。节点间的接触过程可用动态图(Graph, G)^[7]表示。图中的节点代表网络中的车辆, 图中的边表示车与车间的通信链路。例如, 图论中的割点表征了顶点的重要性。具有割点性质的节点就可成为下一跳转发节点。然而, 只依据一跳节点信息选择下一跳转发节点降低了数据链路的强健性。当然, 依据网络的全局拓扑信息就能够增加路由强健性, 但这增加了路由的开销。此外, 车辆的快速移动, 增加获取全局网络拓扑信息的难度。但获取邻近车辆的信息是较现实的, 如一跳、二跳邻居节点的信息。通过获取邻近车辆的信息, 能够提高数据传输性能^[8-9]。从邻近车辆信息中提取有用信息对于选择下一跳转发节点是非常重要的。而复杂网络中的介数中心性(betweenness centrality)和度中心性(degree centrality)两项性能指标能够有效地表述信息的价值。为此, 引用复杂网络这两项指标, 提出基于复杂网络指标的数据传输(MCDD)策略。MCDD 策略先依据源节点建立子图, 然后再寻找子图的割点, 并计算割点的权值。再从满足权值要求的割点中选择合适的节点传输数据。仿真结果表明, 提出的 MCDD 策略能够有效地分发数据, 减少数据分发的拥塞时间。

1 网络模型

考虑如图 1 所示的城市 VANETs 场景, 源车辆需要向其他车辆发送数据。通常, 源车辆需要通过多跳才能完成数据的传输。因此, 源车辆必须从邻居节点中选择合适的节点作为下一跳转发节点。此外, 由于车辆作为 VANETs 内的节点, 它不受能量、数据处理能力的限制, 本文假定车辆(节点)能无故障传输数据。

假定系统有 M 辆车, 且这些车辆分别标记为 v_1, v_2, \dots, v_M 。车辆 v_i 利用 GPS 获取自己的位置坐标 $p_i(x, y)$ 。令 R_{\max} 表示车辆 v_i 最大通信范围, 且 $i=1, 2, \dots, M$ 。此外, 所有车辆均安装了基于 IEEE 802.11p 无线电发射器, 它们能够与邻居车辆通信。令 N_i 表示车辆 v_i 的一跳邻居车辆, 其定义如式(1)所示:

$$N_i = \{v_k \in \Omega \mid k \neq i, d(v_i, v_k) \leq R_{\max}\} \quad (1)$$

式中 $d(v_i, v_k)$ 表示车辆 v_i, v_k 间的距离。每辆车维持它的邻居车辆信息, 如位置、方向以及邻居车辆的一跳邻居车辆。同时, 引用图论 $G=(V, E)$ 表述系统内车辆和链路, 其中, $V=\{q_1, q_2, \dots, q_M\}$ 为顶点集, 表示车辆; $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 为边, 表示车辆与车辆间的链路。

2 MCDD 策略

MCDD 策略以发送节点方式选择最佳转发节点, 完成在城市 VANETs 场景的数据传输。MCDD 策略旨在降低开销, 缩短传输时延。在 MCDD 策略中, 每个车辆与邻居节点交互心跳包(Beacon)^[10], 获取局部的网络信息。依据这些信息, 建立子图。利用深度优先搜索(Depth-First Search, DFS), 寻找子图的割点, 再计算割点的权重。从割点中选择最合适的节点作为下一跳转发节点。

2.1 Beacon 包的传输

VANETs 中, 每辆车周期地传输 Beacon 包, 其包含车辆信息。MCDD 策略仍引用该机制。车辆周期地传输 Beacon 包, 并利用 Beacon 包携带 MCDD 策略所需的信息。因此, 对传统的 Beacon 包的字段进行扩展, 在 Beacon 包添加了车辆身份、位置和它的一跳邻居节点。一旦收到 Beacon 包, 车辆(假定为车辆 v_i)就更新自己的邻居集 N_i 。同时, 车辆 v_i 以邻居车辆构建一个子图。车辆 v_i 构建如图 2 所示的子图 $G[E'_i]$, 其中 E'_i 表示车辆 v_i 与它的邻居节点 N_i 间通信链路集。

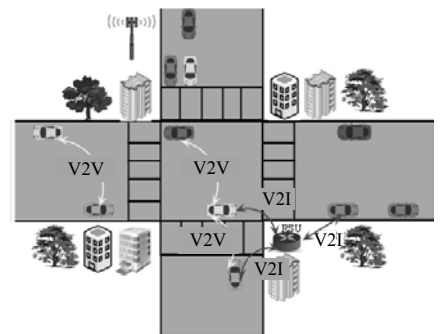


Fig.1 Urban application scenarios of VANETs
图 1 VANETs 的城市应用场景

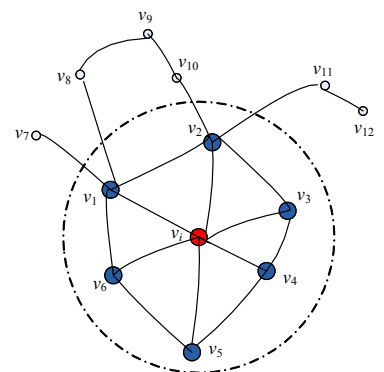


Fig.2 Subgraph of vehicle v_i
图 2 基于 v_i 车辆的子图

2.2 割点

MCDD 考虑 2 个复杂网络指标：a) 度中心性；b) 介数中心性。度中心性反映顶点的邻居节点数^[11]。而介数中心性反映顶点在图中的重要性，实际上，其等于经过此顶点的最短路径数^[12]。文献[13-14]也将介数中心性看成割点。

割点：若从图中删除一个顶点和与该顶点相关联的边后，该图的连通分支数增加，则此顶点称为图的割点。如图 3 所示，图 G 为一个连通图^[7]。若删除顶点 B 以及连通 B 的边，则图 G 就分割成 3 个连通分量 {A,C,F,L,M,J}，{G,H,I,K}，{D,E}。图的连通分支数增加。因此，顶点 B 称为 G 的一个割点。

引用 Tarjan 算法^[15]将子图划分为 DFS 树，进而寻找割点。每个车辆 v_i 通过将子图 $G[E'_i]$ 划分为 DFS 树，进而形成割点集 ψ_i^c 。然后再计算每个割点 $j \in \psi_i^c$ 的权值 ω_j 。将割点权值定义为二值变量，取值于 {0,1}。

- 1) 若 j 是根节点(Root Node, RN), 且 j 的邻居节点数大于或等于 2 时, 则 $\omega_j=1$;
- 2) 若 j 不是 RN ($j \notin RN$), 且节点 j 有一个邻居节点 k , 即 $\exists k, k \in N_j$ 。若满足式(2), 则 $\omega_j=1$ 。

$$\{N_j - \{k\}\} \cap \{N_k - \{j\}\} = \emptyset, \exists k, k \in N_j \quad (2)$$

式(2)所表达场景是指：节点 j 与节点 k 没有共同邻居节点(除去两节点本身)。图 4 描述了此场景。依图 4 可知， $\{N_j - \{k\}\} = \{a, b\}$ 。而 $\{N_k - \{j\}\} = \{x, y, z\}$ 。而 $\{a, b\} \cap \{x, y, z\} = \emptyset$ 。割点的权值定义：

$$\omega_i = \begin{cases} 1, & i \in RN \\ 1, & i \notin RN \text{ and satisfying (2)} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

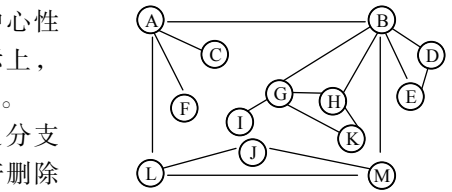


Fig.3 Cut-point diagram
图 3 割点示意图

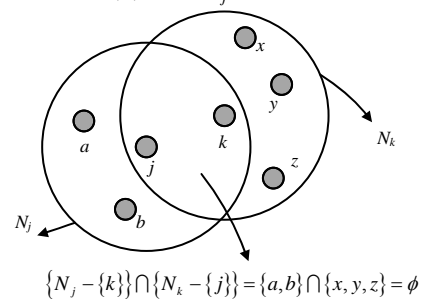


Fig.4 Sample scenario
图 4 场景示例

2.3 下一跳转发节点

MCDD 策略是从割点中选择合适的节点作为下一跳转发节点，其具有交互信息的能力^[16]。为了选择更合适的转发节点，将源节点的通信范围划分为 4 个象限区域，进而能在各个方向传输消息，提高路由的覆盖率^[17]。源节点 i 先将它的转发区域划分为 4 个转发子区域：第一象限区、第二象限区、第三象限区和第四象限区，如图 5 所示。源节点先依据邻域系数选择一个转发子区域，然后从该子区域内选择下一跳转发节点。

令 A_u 表示 4 个转发子区域，且 $u=1,2,3,4$ 。假定源节点 i 在这 4 个区域内的一跳邻居数分别为 N_i^u ，且 $N_i^1 + N_i^2 + N_i^3 + N_i^4 = N_i$ 。转发子区域 A_u 的邻域系数 ρ_u 定义为：

$$\rho_u = \frac{N_i^u}{N_i^{\max}}, u=1,2,3,4 \quad (4)$$

式中： $N_i^{\max} = \max_{u=1,2,3,4} N_i^u$ ，表示 4 个子区域的最大邻居节点数。依式(4)可知，邻域系数表征度中心性。邻域系数 ρ_u 越大，表示该区域内具有的节点数越多，网络连通性能越好。然后，再从具有最大邻域系数 ρ_u 的子区域 A_u 内选择一个割点作为下一跳转发节点。图 5 中， A_1 的 ρ_1 值最大，则 A_1 作为转发区域，即 $u'=1$ 。

在给定的转发子区域内，选择距离更远的节点，进而减少通信跳数^[18-19]。令节点 $h \in A_{u'}$ ，源节点 i 离节点 h 的距离为 $d(i, h)$ 。选择具有最大距离的节点作为下一跳转发节点 f^* ，如式(5)所示：

$$f^* = \arg \max_{h \in A_{u'}} d(i, h), \omega_h = 1 \quad (5)$$

式中： $\omega_h = 1$ ，表明从权值为 1 的割点中选择节点作为下一跳转发节点。

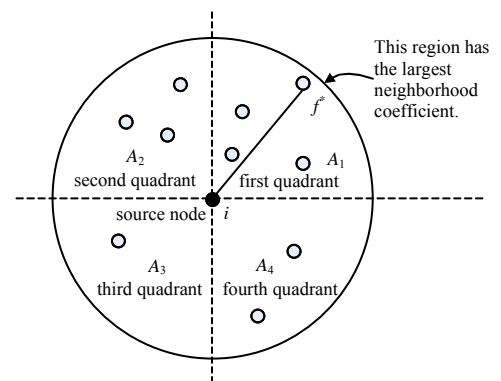


Fig.5 Forwarding area
图 5 转发区域

2.4 数据包的传输

源节点 i 一旦选择了下一跳转发节点 f^* ，就将节点 f^* 的 ID 号加入数据包的头部，然后再广播。接收节点收到后，就确认自己的 ID 号与数据包头部的 ID 号是否匹配。若不匹配，则丢弃；否则，就接收，再依 MCDD 策略选择下一跳转发节点，进而完成数据包的传输。

3 性能分析

3.1 仿真环境

利用目标模块化网络试验台(Objective Modular Network Testbed in C++, OMNET++)^[20]仿真数据传输的性能。由于 OMNET++软件本身没有 VANETs 仿真模块,采用开源的 Veins 仿真框架。并利用软件更新工具(Software Updates Monitor, SUMO)^[21]生成仿真场景。作为经典的开源交通仿真软件, SUMO 软件集成了车辆行驶规律、驾驶习惯等重要模块。考虑曼哈顿(Manhattan)网格^[22]场景,场景区域面积为 1 km²。场景区域有 10 条等间隔的双街道。由于本文针对城市场景,数据传输受街道边的障碍物影响。因此,在仿真场景内,考虑障碍物模块,每个障碍物模块大小为 80 m×80 m。为了能够分析车流量,仿真过程中考虑了不同的车密度: 500,700,900,1 100 vehicles/km²。具体网络仿真参数如表 1 所示。

为了能分析 TMS 服务的数据传输的有效性,选择原始的车辆移动轨迹(Original Vehicular Mobility Trace, OVMT)和 FTMS 作为参照。OVMT 表示 TMS 应用的数据传输基准,其没有采取任何 TMS 机制。FTMS 将数据传输分为两步:区内和区间。而提出的 MCDD 考虑 TMS 机制,并通过邻近节点的信息决策下一跳转发节点。分析它们的遍历时间、拥塞时间和平均车速。遍历时间是指车辆在场景内的移动时间,时间越短,表明车辆行驶越流畅;拥塞时间是指车辆因交通拥塞而停留的平均时间;平均车速是指在场景内移动的平均行驶速度。

表 1 仿真参数

Table1 Simulation parameters	
simulation parameters	value
Manhattan mesh region	1 000 m×1 000 m
obstacle module size	80 m×80 m
bit rate in MAC/(Mbit·s ⁻¹)	18
transmitting power mW	2.2
communication radius of node/m	300
transmitting beacon frequency/Hz	1
maximum speed/(km·h ⁻¹)	50.04
simulation time/s	2000

3.2 数据分析

首先分析 OVMT,FTMS 和 MCDD 的遍历时间。从图 6 可知,在 700 vehicles/km²和 1 100 vehicles/km²时,相比于 OVMT 和 MCDD,FTMS 的遍历时间略有增加。而 MCDD 协议的遍历时间最短。在 700 vehicles/km²和 900 vehicles/km²密度时,相比 OVMT 和 FTMS,MCDD 协议的平均遍历时间缩短约 1.13%和 18.11%。之所以 FTMS 协议的遍历时间最长,其原因在于:FTMS 协议的重建路由严重。

协议的拥塞时间分析如图 7 所示。拥塞时间越短,交通管理性能越好。从图 7 可知,MCDD 协议的拥塞时间最短。例如,在 500 vehicles/km²,700 vehicles/km²和 900 vehicles/km²时,MCDD 协议的拥塞时间逼近于 FTMS,而 OVMT 协议的拥塞时间最长。此外,在 1 100 vehicles/km²密度时,MCDD 协议的拥塞时间比 OVMT 和 FTMS 协议减少了约 48.95%。原因在于 MCDD 协议采取了有效的数据分发机制,特别是在网络密集区域。

最后,分析了各协议的平均车速性能,如图 8 所示。平均车速越高,车辆行驶越流畅,遭遇的拥塞情况越少。从图 8 可知,MCDD 协议的车速最高,且随着车密度的增加,平均车速随之下降。这主要是因为:车密度越高,道路拥塞率就越高,车速必然下降。与 OVMT 相比,FTMS 协议的平均车速性能保持优势。

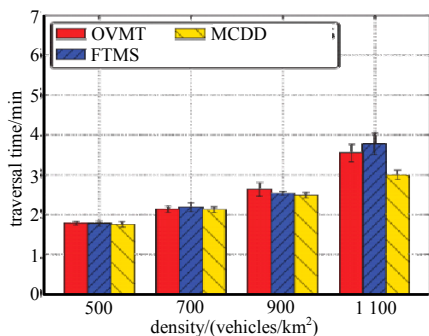


Fig.6 Traversal time with vehicle density
图 6 遍历时间与车辆密度

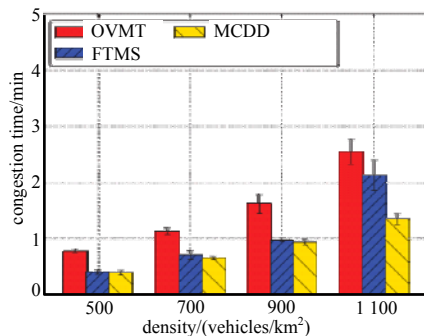


Fig.7 Congestion time with vehicle density
图 7 拥塞时间与车辆密度

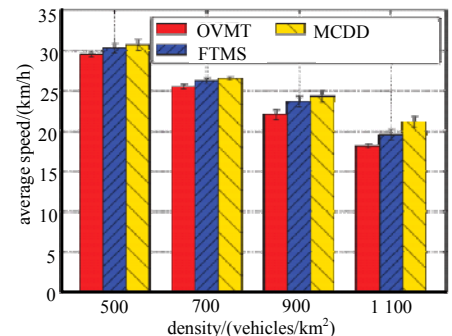


Fig.8 Average speed with vehicle density
图 8 平均车速随车密度的变化情况

4 结论

针对 TMS 的数据传输问题,提出基于复杂网络指标的数据传输 MCDD 策略。MCDD 策略通过一、二跳邻居节点的信息,构建子图。MCDD 策略利用复杂网络指标选择最优的转发节点传输数据包。仿真表明,提出的 MCDD 策略有效缩短了车辆的平均遍历时间、拥塞时间,比 FTMS 策略的平均遍历时间和拥塞时间分别缩短了约 18.11%和 48.95%。后期,将进一步优化算法,分析 MCDD 策略的复杂度,并扩展其应用场景。

参考文献：

- [1] COSTA J,ROSÁRIO D,DE SOUZA A M,et al. Data dissemination based on complex networks' metrics for distributed traffic management system[C]// IEEE Symposium on Computers and Communications. Natal,Brazil:IEEE, 2018:1062–1068.
- [2] 徐会彬,焦克莹. 车联网中 V2I 通信路由的研究[J]. 传感技术学报, 2018,31(8):1430–1436. (XU Huibin,JIAO Keying. Study on communication routing based on vehicles-to roadside infrastructure in VANETs[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2018,31(8):1430–1436.)
- [3] SOUZA A,VILLAS L. A fully-distributed traffic management system to improve the overall traffic efficiency[C]// Proceedings of the 19th International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York:ACM, 2016:19–26.
- [4] 邹承明,刘攀文,唐星. 动态主机配置协议泛洪攻击在软件定义网络中的实时防御[J]. 计算机应用, 2019,39(4):1066–1072. (ZOU Chengming,LIU Panwen,TANG Xing. Real-time defence against dynamic host configuration protocol flood attack in software defined network[J]. Journal of Computer Applications, 2019,39(4):1066–1072.)
- [5] AKABANE A T,PAZZI R W,VILLAS L A. CARRO:a context-awareness protocol for data dissemination in urban and highway scenarios[C]// Proceedings of the 8th IEEE Latin-American Conference on Communications. Medellin,Colombia: IEEE, 2016:1–6.
- [6] MONTEIRO R,VIRIYASITAVAT W,SARGENTO S. A graph structure approach to improve message dissemination in vehicular networks[J]. Wireless Networks, 2017,23(7):2145–2163.
- [7] 李耿,秦雯,王婷,等. 异质多智能体系统滞后一致性跟踪控制[J]. 计算机应用, 2018,38(12):3385–3390. (LI Geng,QIN Wen,WANG Ting,et al. Lag consensus tracking control for heterogeneous multi-agent systems[J]. Journal of Computer Applications, 2018,38(12):3385–3390.)
- [8] NABOULSI D,FIORE M. Characterizing the instantaneous connectivity of large-scale urban vehicular networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2017,16(5):1272–1286.
- [9] MONTEIRO R,SARGENTO S,VIRIYASITAVAT W. Improving vanet protocols via network science[C]// Proceedings of the IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). Seoul,Korea:IEEE, 2012:17–24.
- [10] NI Y,LIN C,BO Y. Vehicular beacon broadcast scheduling based on Age of Information(AoI)[J]. Chinese Communication, 2018,15(7):77–86.
- [11] DALY E M,HAHR M. Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant manets[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015,8(5):606–621.
- [12] CUZZOCREA A,PAPADIMITRIOU A,KATSAROS D. Edge betweenness centrality: a novel algorithm for QoS-based topology control over wireless sensor networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014,35(4):1210–1217.
- [13] WANG L,YANG F,ZHUANG L. Articulation points guided redundancy elimination for betweenness centrality[C]// Proceedings of the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming. New York:ACM, 2016:7–18.
- [14] TIAN L,BASHAN A,SHI D N. Articulation points in complex networks[J]. Nature Communications, 2017,8(9):45–54.
- [15] TARJAN R. Depth-first search and linear graph algorithms[J]. SIAM Journal on Computing, 1972,1(2):146–160.
- [16] FREEMAN L C. A set of measures of centrality based on betweenness[J]. Sociometry, 1977,40(1):35–41.
- [17] 姚玉坤,刘江兵,李小勇,等. LLN 中基于环路避免的高效路由修复算法[J]. 系统工程与电子技术, 2018,40(5):1135–1142. (YAO Yukun,LIU Jiangbing,LI Xiaoyong,et al. Highly-efficient routing repair algorithm based on loop-free for LLN[J]. System Engineering and Electronics, 2018,40(5):1135–1142.)
- [18] 姚玉坤,刘江兵,李小勇. 基于簇父集协作通信的低功耗有损网络路由算法优化[J]. 计算机应用, 2017,37(5):1300–1305. (YAO Yukun,LIU Jiangbing,LI Xiaoyong. Optimized routing algorithm based on cooperative communication of cluster parent set for low power and lossy network[J]. Journal of Computer Applications, 2017,37(5):1300–1305.)
- [19] GADDOUR O,KOUBÂA A,ABID M. Quality-of-service aware routing for static and mobile IPv6-based low-power and lossy sensor networks using RPL[J]. Ad Hoc Networks, 2015(33):233–256.
- [20] ASSIS L V D S,COSTA D G. VisualCastalia: an extension to the Castalia/OMNeT++ for simulations of image transmissions in wireless sensor networks[J]. IEEE Latin America Transactions, 2018,16(5):1557–1564.
- [21] 裴金漪. 基于 SUMO 和双流体模型的城市交通信号系统模拟[D]. 兰州:兰州交通大学, 2015. (PEI Jinyi. Urban traffic signal system simulation based on SUMO and two-fluid model[D]. Lanzhou,China:Lanzhou Jiaotong University, 2015.)
- [22] 李也,龚咏喜,张兆东,等. 基于矢量网格的城市土地利用邻里模式研究[J]. 地理学报, 2018,73(11):2236–2249. (LI Ye, GONG Yongxi,ZHANG Zhaodong,et al. On the neighborhood patterns of urban land use using vector grids[J]. Acta Geographica Sinica, 2018,73(11):2236–2249.)