



研究与开发

基于可变距离的车联网 D2D 通信连接选择

邱永芳, 邱恭安, 周永箐

(南通大学电子信息学院, 江苏 南通 226019)

摘要: 车联网是移动互联网的延伸, 其中基站协作的 D2D 通信适用于车间交通消息的短距离无线传播。针对车辆快速移动导致的通信链路动态性, 提出了一种基于可变距离的 D2D 连接选择方法。通过选择行车道及车间距离参数, 估计 D2D 连接对的信道质量, 推导了 D2D 连接选择的优先指数, 并基于该优先指数建立 D2D 通信链路进行交通消息传播。仿真结果显示, 所提方法在 D2D 连接的生存时间、传输效率方面得到提高, 同时降低了 D2D 通信的中断概率, 提升了车辆间通信可靠性。

关键词: D2D 通信; 连接选择; 链路生存时间; 车联网

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017119

Variable distance based D2D connection selection scheme in internet of vehicles

QIU Yongfang, QIU Gong'an, ZHOU Yongzheng

School of Electronics and Information, Nantong University, Nantong 226019, China

Abstract: Internet of vehicles is an extension of the mobile network. Traffic messages can be disseminated in a short range by D2D communication technology under the base station controller. For decreasing the dynamics of the communication link due to rapid movement, a new D2D connection selection scheme based on variable distance between vehicles was proposed. By selecting the traffic lane and workshop distance parameters, the channel quality between D2D pairs was estimated, the priority index of D2D connection selection was deduced, and the D2D communication link was established based on the priority index for traffic message propagation. The simulation results show that the proposed method has an improvement in the survivability and transmission efficiency of D2D connection. At the same time, the reliability of traffic message dissemination in short range was improved by decreasing the outage probability of D2D communication.

Key words: D2D communication, connection selection, link lifetime, internet of vehicles

收稿日期: 2017-01-17; 修回日期: 2017-05-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61371113, No.61601248); 南通市应用研究计划基金资助项目 (No.BK2012024)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61371113, No.61601248), Nantong Science and Technology Plan Project (No.BK2012024)



1 引言

在蜂窝通信系统的控制下, D2D 通信允许终端用户通过共享小区资源在一定范围内进行直接通信, 是 5G 的关键技术之一^[1-3]。当交通事件发生时, 交通状态消息会在短时间和短距离范围内重复广播, 容易造成有限链路拥塞。D2D 通信作为一种可靠的短距离通信技术, 能有效缓解核心网络的负载, 实现数据分流, 适用于车联网中短距离交通消息传播^[4]。目前, 车联网采用专用短距离通信 (dedicated short range communication, DSRC) 技术来实现车间及车路通信。但 RSU/OBU (road side unit / on board unit) 通信距离短, 容易导致交通消息网络的可扩展性问题, 需要改进交通消息传输网络以提高交通消息传输的可靠性和实时性。因此, 基于车辆的强移动性探索 D2D 连接对选择方法, 以建立生存时间长、可靠性强的链路, 能够降低 D2D 通信中断概率, 提高交通消息传播性能。

一旦 D2D 通信链路建立起来, 其通信所需的数据流量将不再经过基站和核心网, 从而减少通信时延、减轻基站压力、缓解核心网负载, 大大提升频谱利用率和吞吐量^[5]。参考文献[6]指出当潜在 D2D 连接对确定后, 所有可行链路的传输顺序将影响系统性能。参考文献[7]提出了一种分布式链路选择算法, 但在高速行驶的车道中, 链路状态动态变化, 所获取的信道状态信息容易过时, 从而导致不能获得最优链路选择。参考文献[8]提出的最短路径选择策略虽然满足了交通消息的时延敏感要求, 但不适用于交通紧急预警消息的传播。参考文献[9]针对节点移动速度、道路宽度对链路生存时间的影响, 建立链路动态分析模型, 推导出链路生存时间的表达式。参考文献[10]提出的链路生存时间预测方法, 研究了平均链路生存时间的性能, 但其计算复杂度高, 不适用于拓扑结构动态变化的车联网。参考文献[11]通过所获取

的节点实时位置、移动速度以及方向参数, 预测节点的下一个位置, 延长与目的节点的链路生存时间, 但实时更新位置信息会增加通信开销, 导致系统性能降低。

针对车辆快速移动导致的通信链路动态性问题, 提出了一种基于可变距离的车间通信链路选择方法, 通过建立连接优先指数来选择 D2D 连接对, 以提高直通通信连接的生存时间, 改善交通消息传输性能。

2 系统模型

当交通事件发生时, 交通状态消息会在短时间、短距离范围内重复广播, 容易造成有限链路重负载。因此, 车辆在基站控制下与其通信范围内的邻居车辆建立 D2D 连接对, 传播实时交通安全告警消息, 以预警交通事故。在车联网中, 假设车辆能够在蜂窝网络基站控制下实现车间 D2D 通信, 每个车辆的通信范围均为 R , 车辆周期性地收集其邻居车辆的交通消息, 主要包括当前速度、方向、位置以及位置精确度等。车辆间 D2D 连接对复用蜂窝网络的上行链路频谱资源, 且基站为 D2D 用户和蜂窝用户分配正交的频谱资源, 以减少与蜂窝用户之间的同频干扰, 系统模型如图 1 所示。设行车道 1 中发生车辆碰撞事故, 相关车辆车载传感器检测到该事故后生成简短的交通事故告警消息, 包括事故位置、时间、事故类型, 如图 1 中的碰撞消息。该消息被上传给基站, 事故车辆即源车辆向基站请求建立 D2D 连接对以进行交通告警消息的传播, 基站根据所获得的链路信息为源车辆建立 D2D 连接对。设 D2D 通信所需的传输功率自适应控制, 且远小于蜂窝通信所需的传输功率。

3 D2D 连接对选择方法

设某车辆与其通信范围内同向行驶的后方车辆建立 D2D 连接对, 以进行交通预警消息传播, 设车辆 i 为消息发送者, 车辆 j 为任意邻居车辆,

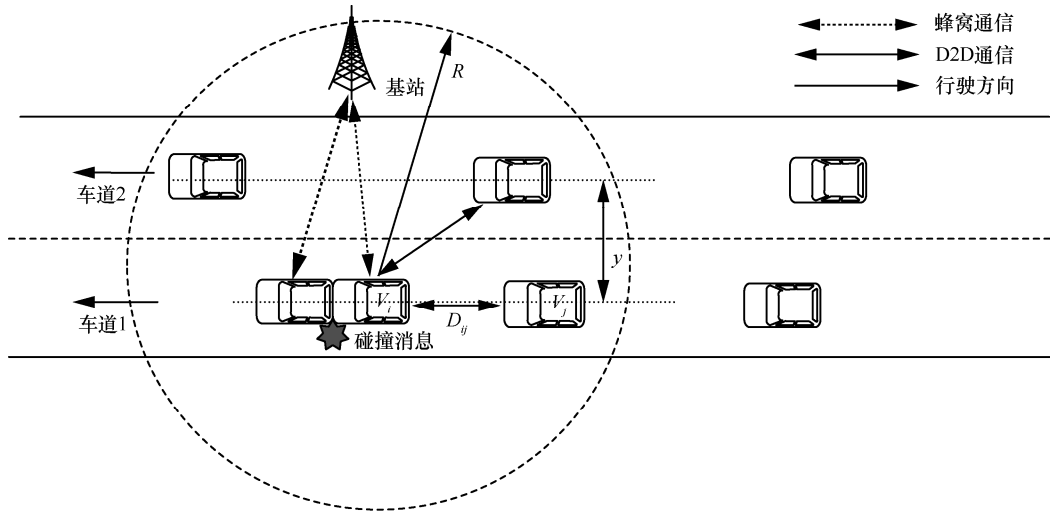


图1 系统模型

则两车辆间的欧式距离为:

$$D = \sqrt{|V_i - V_j|^2 T^2 + y^2} \quad (1)$$

其中, V_i 表示车辆 i 的车速, $V_j (j=1, \dots, N)$ 表示邻居车辆 j 的车速, y 表示车辆间的纵向宽度, 周期性车间距离更新时间 $T=100 \text{ ms}$, 车间纵向宽度参数集 $L(y)$ 模糊化为:

$$L(y) = \{\text{同一车道}, \text{相邻车道}\} \quad (2)$$

模糊化参数 $L(y)$ 的取值是由道路的宽度和车身宽度设定的^[12]. 若设定道路宽度 $W=3.75 \text{ m}$, 车身宽度 $d=3 \text{ m}$, 则邻道车间纵向宽度最大约为 $2W-d$, 即 4 m . 对于源车辆与其邻居车辆纵向宽度 y 的模糊化参数值 $L(y)$, 是在两种状态之间动态变化的, 每种状态可能出现的程度用模糊隶属函数 μ 表达, 该函数如图 2 所示, 其同一车道与相邻车道模糊状态的交接点为 $W-d/2$, 即 2.25 m , 该交接点反映了车辆处于切换车道的状态。

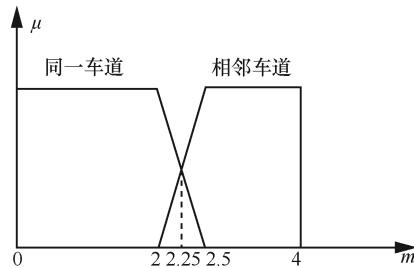


图2 车道隶属函数

为保证消息成功传输, 源车辆会选择信道状态好的邻居车辆进行通信。若源车辆与其邻居车辆间存在视距, 其信道状态一般比较好。当有紧急预警消息产生时, 源车辆会优先发送给同车道后方车辆以防止连环碰撞发生。因此, 对于邻居车辆来说, 其与源车辆的距离以及所在的车道不同, 被选择通信的可能性也会不同, 则各邻居车辆被选择连接的优先指数可表示为:

$$\lambda = \frac{(|N_s - N_r| + 1) \times D}{N_t R} \quad (3)$$

其中, D 表示源车辆与邻居车辆间的欧式距离, N_s 和 N_r 分别表示源车辆和邻居车辆所在的车道, N_t 表示总车道数, R 表示车辆的通信范围。优先指数越小, 车辆的优先级就越高, 被源车辆选择通信的可能性就越大。当两车辆的优先指数相同时, 会优先选择与源车辆处于相同车道的车辆进行通信。基于优先指数的 D2D 连接对选择流程如图 3 所示。

第一步, 车辆 i 在行驶过程中, 会周期性地获取周围邻居车辆的交通信息, 当其有紧急预警消息要发送时, 会向基站请求与周围的邻居车辆建立 D2D 连接对, 进行短距离交通消息传播; 第二步, 计算车辆 i 与各邻居车辆的距离 D_{ij} 以及

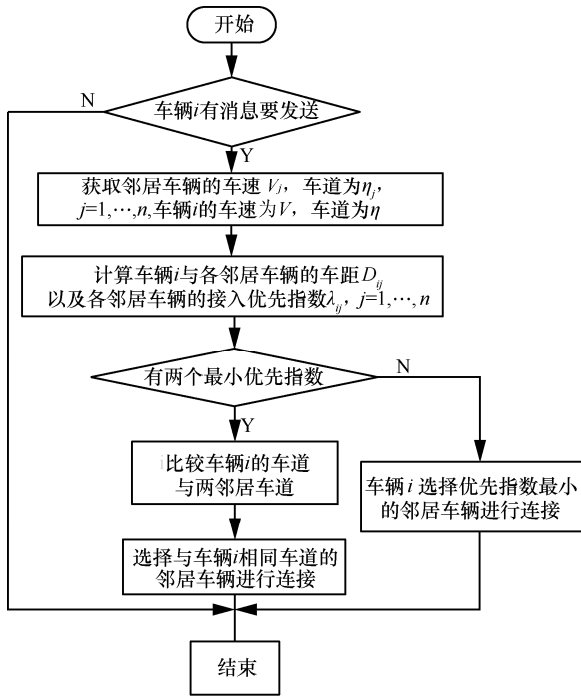


图3 基于优先指数的D2D连接对选择流程

各邻居车辆接入车辆 i 的优先指数 λ_{ij} ；第三步，比较各邻居车辆接入的优先指数大小，选出最小优先指数所对应的邻居车辆，车辆 i 会与其连接进行交通消息传播，当有两个最小优先指数时，车辆 i 会优先选择与其处于相同车道的邻居车辆进行连接；第四步，当车辆 i 完成本次消息的传输后，仍有消息发送时，则重复上述步骤，直到没有消息发送。

4 性能分析

(1) 链路生存时间

链路生存时间定义为任意两车辆间建立的链路保持时间。设某时刻 t 时，车辆 i 与车辆 j 处于连通状态^[13-14]，则其链路的生存时间为 $T_{ij} = \frac{|R-D|}{|v_i - v_j|}$ ，由式(1)可得 $|v_i - v_j| = \frac{\sqrt{D^2 - y^2}}{T}$ ，

则链路生存时间可改为：

$$T_{ij} = \frac{|R-D| \times T}{\sqrt{D^2 - y^2}} \quad (4)$$

其中， D 表示车辆 i, j 间的欧式距离， V_i, V_j 表示进行连接的两车辆的速度， R 为通信范围， y 为车辆间的纵向宽度。当进行连接的两车辆处于同一车道时，取 $y=0$ ，否则取 $y=3$ 。链路生存时间越长，链路的稳定性就越高，成功传输的概率就越大。

(2) 传输效率

传输效率 η 定义为单位时间内有效传输时间的比例，即：

$$\eta = \frac{T_D}{T_A} \quad (5)$$

其中， T_D 表示成功传输数据的有效传输时间， T_A 表示从准备发送数据到最后成功传输数据的时间。

(3) 中断概率

链路中断概率定义为链路上的信噪比低于预设阈值的概率。假设 D2D 用户之间的信道为威布尔衰落信道，对于任意两车辆间的链路 $i \rightarrow j$ ，接收端的信噪比为：

$$\gamma = \frac{\alpha P}{D^\beta N} \quad (6)$$

其中， α 为衰减系数， P 为发送信号功率， D 为车辆 i, j 间的欧式距离， β 为路径衰落指数， N 为噪声功率。因此链路中断概率可表示为：

$$P_{\text{out}} = P\{\gamma < \gamma_{\text{th}}\} \quad (7)$$

其中， γ_{th} 为预设的信噪比阈值，且信噪比 γ 的概率密度函数为^[15]：

$$f(x) = \frac{\varsigma}{2} \left(\frac{\Gamma(1+2/\varsigma)}{\bar{\gamma}} \right)^{\varsigma/2} \beta^{\frac{\varsigma-1}{2}} \exp \left(- \left(\frac{\Gamma(1+2/\varsigma)\beta}{\bar{\gamma}} \right)^{\varsigma/2} \right) \quad (8)$$

其中， ς 为韦伯衰落系数， $\bar{\gamma}$ 为平均信噪比，因此链路的中断概率又可表示为：

$$P_{\text{out}} = P\{\gamma < \gamma_{\text{th}}\} = 1 - \exp \left(- \frac{\Gamma(1+2/\varsigma)\gamma_{\text{th}} D^\beta N}{\beta P} \right)^{\varsigma/2} \quad (9)$$

5 仿真与分析

选择 D2D 连接链路的生存时间、传输效率以及中断概率为仿真性能参数, 比较不同链路选择方法的性能。设同向两车道路段长度为 1 km, 两车道速度随机取值为 $[60, 120]$ km/h。邻居列表交换周期和相对车距更新周期为 100 ms。设在相同行驶道路上车辆到达过程服从泊松分布, 车辆通信范围为 300 m, 当两车辆处于彼此通信范围时, 认为两节点是可连通的。信号发射功率为 2 W, 韦伯衰落为 2, 衰减系数为 1.64×10^{-5} , 信噪比的预设阈值为 10 dB。在 MATLAB 2010b 软件上进行仿真, 仿真参数见表 1。仿真统计了不同车道中车辆间的距离与链路生存时间关系, 对不同 D2D 连接建立方法, 仿真比较了所提方法、随机 D2D 连接建立方法以及参考文献[16]中的 MLS (maximal lifetime scheduling) 方法的平均链路生存时间、传输效率以及中断概率 3 个性能指标。为保证所提方法的有效性和正确性, 仿真结果为随机场景下运行 1 000 次的结果。

表 1 仿真参数

参数	取值
车道长度/km	1
车辆速度/(km·h ⁻¹)	60~120
车辆密度/(veh·m ⁻¹)	0.01~0.09
通信范围/m	300
发射功率/W	0.01
信噪比阈值/dB	10

图 4 显示了车辆间的可变距离对链路生存时间的影响。车辆间的可变距离越小, 其信道质量一般越好, 所能保持的链路生存时间就越长, 被选为 D2D 连接对的可能性就越大。通信距离大于 200 m 后, 链路生存时间小于 100 ms, 中断概率增大, 消息成功传输概率减小, 无法保证消息的有效传输。

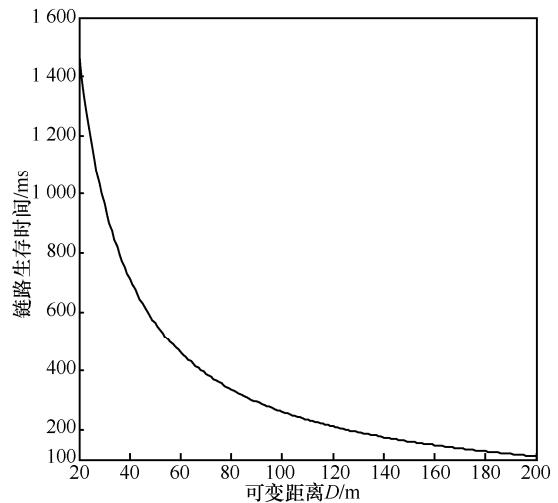


图 4 车辆间的可变距离对链路生存时间的影响

图 5 给出了 3 种连接选择方法的平均链路生存时间。由图 5 可知, 与另外两种选择方法相比, 基于优先级的连接选择方法大大提高了链路生存时间。这是因为本文所提的连接方法同时考虑了车距和车道因素, 且对 D2D 连接对进行了有优先级的选择, 从而能够很好地保证通信的可靠性。而随机选择方法没有考虑用户所处位置以及通信双方信道的好坏, MLS 方法没有考虑用户所处位置的影响, 因此链路生存时间短。

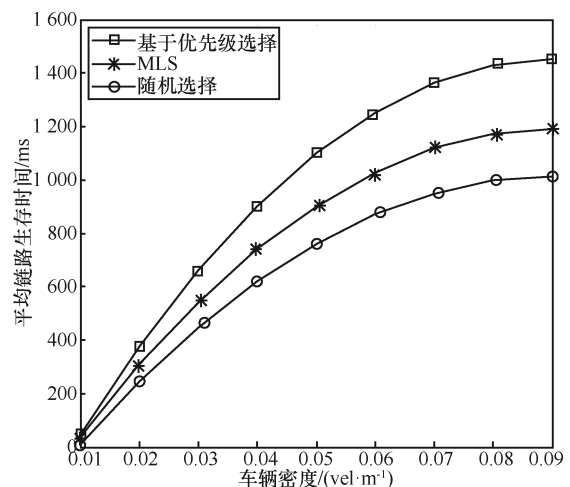


图 5 3 种连接选择方法的平均链路生存时间

图 6 显示了车辆密度对传输效率的影响性能曲线。由图 6 可知, 随着车节点密度的增加, 传



输效率逐渐增加。这是因为随着车辆密度的增大,源节点可以选择通信的车辆数增加,车辆间的距离变小,视距范围内链路质量一般较好,数据成功传输的概率增大,传输效率增加。

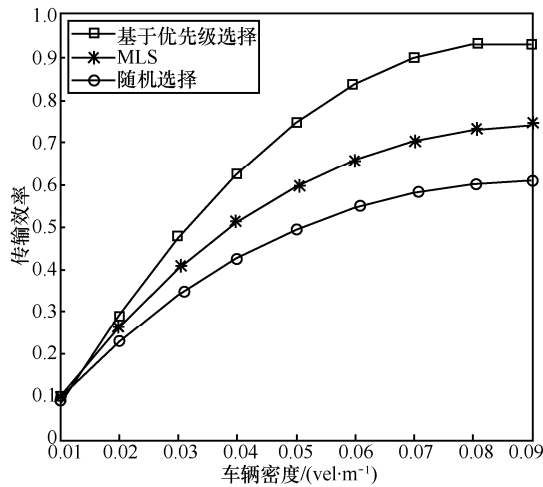


图6 车辆密度对传输效率的影响

图7显示了车辆密度对中断概率的影响性。由图7可知,随着车节点密度的增加,中断概率整体呈下降趋势。这是因为随着车辆密度的增大,通信节点可以选择的车辆数增加,可以选择最优的链路进行数据传输,从而使中断概率减小。而车辆密度较低时,可选择通信的节点很少,且链路的干扰较大,所以中断概率会很大。

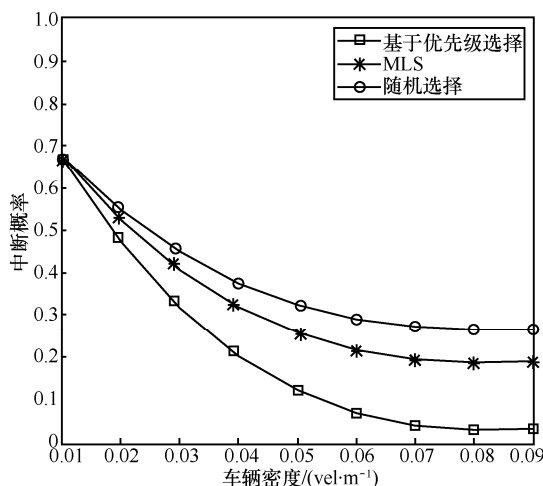


图7 车辆密度对中断概率的影响

6 结束语

车联网是移动通信网络在交通系统中的扩展应用,是交通业务消息承载和传输的载体。D2D通信作为一种可靠的短距离通信技术,适用于车联网中短距离交通消息传播。本文针对车辆快速移动导致的通信链路动态性问题,提出了一种基于可变距离的D2D连接选择方法。其次,通过选择行车道及车间距离参数,估计车间D2D通信连接信道质量,推导了D2D连接对选择的优先指数表达式。仿真结果表明,本文所提的基于优先级连接选择方法有效提高了D2D连接对的链路生存时间、传输效率以及中断概率,提升了车辆间通信的可靠性,改善了交通消息的传播性能。

参考文献:

- [1] 彭军, 马东, 刘凯阳, 等. 基于LTE D2D技术的车联网通信架构与数据分发策略研究[J]. 通信学报, 2016, 37(7): 62-70.
PENG J, MA D, LIU K Y, et al. LTE D2D based vehicle networking communication architecture and data distributing strategy[J]. Journal on Communications, 2016, 37(7): 62-70.
- [2] 林金桐, 许晓东. 第五代移动互联网[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 7-14.
LIN J T, XU X D. The 5th generation of mobile internet[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 7-14.
- [3] 李洁. 互联网汽车发展及关键技术分析[J]. 电信科学, 2016, 32(8): 34-38.
LI J. Introduction and critical technology analysis of internet of vehicle[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(8): 34-38.
- [4] ASADI A, WANG Q, MANCUSO V. A survey on device-to-device communication in cellular networks[J]. IEEE Communication Surveys & Tutorials, 2013, 16(4): 1801-1819.
- [5] 钱志鸿, 王雪. 面向5G通信网的D2D技术综述[J]. 通信学报, 2016, 37(7): 1-14.
QIAN Z H, WANG X. Reviews of D2D technology for 5G communication networks[J]. Journal on Communications, 2016, 37(7): 1-14.
- [6] UYKAN Z, JANTTI R. Transmission-order optimization for bidirectional device-to-device(D2D) communications underlying cellular TDD networks-a graph theoretic approach[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2016, 34(1): 1-14.
- [7] 王正, 丁海洋, 蒋卓勤, 等. 放大转发下分布式协作传输链路选择算法[J]. 无线电通信技术, 2013, 39(2): 25-28.

- WANG Z, DING H Y, JIANG Z Q, et al. Distributed cooperation transmission link selection algorithm based on amplify-and-forward[J]. Radio communication Technology, 2013, 39(2): 25-28.
- [8] JEONGCHEOL L, HOEWON K, EUISIN L, et al. Farthest destination selection and shortest path selection connection strategy for efficient multicasting in vehicular Ad Hoc network[C]// IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference(CCNC), January 9-12, 2016, Las Vegas, USA. New Jersey: IEEE Press, 2016: 996-999.
- [9] 张月, 刘春风, 赵增华, 等. 基于有效覆盖区域的 VANET 链路持续时间建模与仿真[J]. 计算机工程, 2016, 42(3): 22-28.
ZHANG Y, LIU C F, ZHAO Z H, et al. Modeling and simulation of link duration in vehicular Ad Hoc network based on effective coverage area[J]. Computer Engineering, 2016, 42(3): 22-28.
- [10] NOUREDDINE H, NI Q, MIN G, et al. A new link lifetime prediction method for Greedy and Contention-based routing in mobile Ad Hoc network[C]// IEEE International Conference on Computer and Information Technology(CIT), June 29-July 1, 2010, Bradford, UK. New Jersey: IEEE Press, 2010: 2662-2667.
- [11] AYIDA M, AFILA L, FOUCHA H, et al. Improving the link lifetime in VANETs[C]// The 36th Conference on Local Computer Networks, October 4-7, 2011, Bonn, Germany. New Jersey: IEEE Press, 2011: 905-912.
- [12] 邱恭安, 包志华, 章国安, 等. 高稳定被动群集车联网连通性研究[J]. 通信学报, 2016, 37(11): 42-48.
QIU G A, BAO Z H, ZHANG G A, et al. Connectivity analysis of passive cluster with high stability in vehicular wireless network[J]. Journal on Communications, 2016, 37(11): 42-48.
- [13] KWON S, KIM Y, SHROFF N B. Analysis of connectivity and capacity in one-dimensional vehicle-to-vehicle networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(12): 8182-8194.
- [14] 王慧敏, 赵海涛. 车载自组织网络中连通概率的预测与建模[J]. 电信科学, 2016, 32(3): 118-122.
WANG H M, ZHAO H T. Prediction and modeling of connectivity probability in vehicular Ad Hoc network[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(3): 118-122.
- [15] AJEER V K M, NEELAKANTAN P C, BABU A V. Network connectivity of one dimensional in vehicular Ad Hoc network[C]// International Conference on Communications and Signal Processing, February 10-12, 2011, Calicut, India. New Jersey: IEEE Press, 2011: 241-245.
- [16] LI P, GUO S. Cooperative device-to-device communication in cognitive radio cellular network[M]. Berlin: Springer International Publishing, 2014.

[作者简介]



邱永芳 (1991-), 女, 南通大学电子信息学院硕士生, 主要研究方向为车联网通信、D2D 通信。



邱恭安 (1973-), 男, 博士, 南通大学电子信息学院副教授、硕士生导师, 主要研究方向为车联网通信、认知无线网络。

周永箏 (1992-), 女, 南通大学电子信息学院硕士生, 主要研究方向为车联网通信。