



# 车载自组织网中基于车辆密度的可靠性路由协议

蔡蓉,章国安,金丽

(南通大学电子信息学院,江苏 南通 226019)

**摘要:**为了降低转发节点在转发范围内直接寻找一个最优或次优节点的复杂度、减少平均跳数和提高链路的可靠性,提出一种车载自组织网络中基于车辆密度的可靠性路由协议,转发节点首先根据道路车辆密度设置最优块的大小,并将转发范围分割成若干大小相等的块,然后选择其中一个距离转发节点最远的块,最后在被选中的块里根据可靠性原则选择连接时间最长的邻居节点作为中继节点进行转发。仿真结果表明,与 EG-RAODV 相比,所提路由协议的平均跳数较少,平均每跳前进距离较大,能够使数据分组快速到达目的节点。

**关键词:**车载自组织网络;路由协议;平均跳数;平均每跳前进距离

中图分类号:TP393

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016240

## Reliability routing protocol based on vehicle density in VANET

CAI Rong, ZHANG Guoan, JIN Li

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

**Abstract:** A reliability routing protocol based on vehicle density in vehicular Ad Hoc network was proposed to reduce the complexity of finding an optimal or sub-optimal node of the forwarding node in forwarding range, reducing the average number of hops and enhancing the reliability of the link. Firstly, the size of the unite block was set by the forwarding node according to the vehicle density in the road. And the forwarding range was cut into several equal blocks. Then the farthest block away from the forwarding node was selected. In the selected block, the neighbor node which had the longest link time was chosen as a relay node to forward according to the principle of reliability finally. Compared with EG-RAODV, the simulated results of the proposed routing protocol show that the average number of hops is less and the average distance of one-hop progress is lager, which means the proposed routing protocol can transmit the data packet to destination node more quickly.

**Key words:** vehicular Ad Hoc network, routing protocol, average number of hops, average distance of one-hop progress

收稿日期:2016-06-27;修回日期:2016-09-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61371113, No.61401241);交通运输部应用基础研究资助项目(No. 2013-319-825-110)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China(No.61371113, No.61401241),Project of Ministry of Transport of the People's Republic of China(No.2013-319-825-110)



## 1 引言

车载自组织网络(vehicular Ad Hoc network, VANET)越来越受欢迎。随着技术进步,便宜的全球定位系统(global position system, GPS)、节能的嵌入式计算机和普及的互联网应用,使得人们在开车时可以享受很多方便的服务<sup>[1]</sup>。此外, VANET 中节点有丰富的能量以及存储和计算能力。在 VANET 中,由于车辆的高速移动,网络拓扑变化很快,但是车辆移动受道路拓扑和布局的约束,从而导致车辆移动是可预测的。VANET 分为车辆与路边网络基础设施之间的通信(vehicle-to-roadside communication, V2R)和车辆与车辆之间的通信(vehicle-to-vehicle communication, V2V)。

实验研究表明,如果司机在碰撞前的半秒就接收到一个紧急消息,那么有 60% 的交通事故是可以避免的。这就需要为 VANET 设计一个高效的紧急消息(安全消息)传播机制<sup>[2]</sup>。因此,紧急消息传播有两个重要的要求,分别是低时延和高可靠性。但是因为它们彼此是相互冲突的,所以很难同时满足这两个要求。在快速转发方面,参考文献[3]提出一个基于位置的衰退机制来减小重播的总数、数据分组冲突率和数据分组平均时延。但是,这种方法需要额外的控制信息来保持警告。此外,当车辆收不到任何转发信息时,该车辆只重播一次,从而导致可靠性下降。参考文献[4]提出一个传播函数,如果一个节点接近目的节点,那么该传播函数能够产生一个较小的时延和较高的传输概率。这个函数能够确保信息准确地转发到目的节点,但是,由于 VANET 的高移动性,提前定义好的传播函数可能不适合复杂的真实场景。在可靠性方面,参考文献[5]提出一种根据不同应用的服务质量要求选择最优节点的方法,但是,它没有考虑到节点变化的速度和运动方向。参考文献[6]提出一种在可变车速环境下的可靠性路由协议,该路由协议给出链路可靠性值的估计方法,其能够降低链路断开的概率,提高吞吐量。但是,其只考虑到可靠性,所以往往带来较大的时延。

一般情况下,因为最大传输距离很大,所以往往导致转发范围内节点数目很多,如何降低转发节点在转发范围内直接寻找 1 个最优或次优节点进行转发的复杂度是路由协议研究的关键问题之一。为此,本文思路是首先将道路分割成若干块,然后在若干块中根据等待时间确定其中某一块,最后在选中的块里再进一步确定转发节点。这就带来两个问题:一是如何确定块的大小;二是如何进一

步确定转发节点。因为公路上行驶的车辆数目是不断变化的,即节点密度是变量,所以本文根据节点密度确定块的大小。当选中的块里只有 1 个节点时,则该节点即转发节点;当在选中的块里不止 1 个节点时,为了链路的稳定性,则根据可靠性原则确定其中 1 个节点为转发节点。根据以上问题和解决方案,本文提出基于车辆密度的可靠性路由协议。

## 2 路由协议介绍

在 RRPBVD (reliability routing protocol based on vehicle density) 中,假设每辆车都配备 GPS 和至少一个无线收发器,并且周期地向智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)发送自己的位置和速度。ITS 有一个数据库管理器,负责记录交通信息和向其他车辆转发该信息,这些信息包括车辆位置、车辆密度和平均车速。当源节点需要转发数据分组时,首先判断目的节点是否在转发范围内,如果在,则直接转发;如果不在,则根据当时的车辆密度设置合适的块,将转发区域分割成若干相同大小的块,如图 1 所示。然后,源节点根据之前确定的块设置一个最大时延  $T_{\max}$ ,如果到  $T_{\max}$  仍未找到中继节点,则认为是由于发生冲突、传输错误或网络故障导致没有车辆能够转发信息,所以此时需要启动恢复措施,如携带转发;如果  $T_{\max}$  没有到期,则继续寻找中继节点进行转发。在寻找中继节点过程中,源节点根据距离其远的时延小、距离其近的时延大的原则,为每个块设定不同的等待时间  $T_{\text{wait}}$ 。显然,在同一个块内的节点具有相同的时延。当  $T_{\text{wait}}$  到期时,即可确定哪一个块被选中,此时还需要判断在该被选中的块里有几个节点。如果只有 1 个节点,则该节点就为中继节点;如果不止 1 个节点,则根据可靠性原则选择链路持续时间最长的节点作为中继节点进行转发。如此反复,直到数据分组到达目的节点。以下将介绍块的设置、时延门限的设置以及可靠性模型。



图 1 在距离源节点 S 不同的距离下每个块时延设置

### 2.1 块的设置

因为块的大小将会导致不同的冲突概率和平均时延,所以块的初始设置是很重要的。例如,在给定的区域内,当

块数较少时,说明分割块的形状较大,这会减小平均时延,但同时也带来很大的冲突概率。因此对于不同的节点密度,设置一个合适的块是很困难的。这里只需考虑在一些最远的块里是否有车辆能够成功转发数据分组的概率,因为这种情况下转发的时延最小。对于任意车辆密度,如果选择的块大小合适,那么成功转发的概率很大。定义边界区域  $K$  是距离源节点最远的第  $K$  个垂直区域,如图2所示。

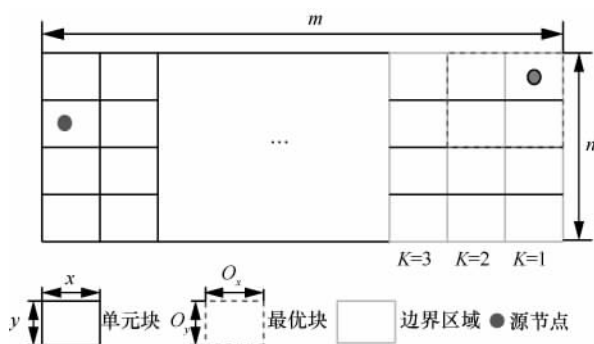


图2 边界区域  $K$  的示意

设置块的方法为:考虑一个区域  $A$ ,把它分成  $m \times n$  个块,这些块的大小为  $x \times y$ 。实际上,令  $15 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  为单元块的大小,因为其接近一个车的大小( $15 \text{ m}$  包含两辆车之间的安全距离)。因此,最多有一辆车在每个单元块中。在第  $K$  个边界区域内至少有1辆车能够成功转发信息的概率<sup>[2]</sup>为:

$$P_K = \begin{cases} \frac{[\sum_{i=1}^{N_{bc}} (C_{N_c}^i \frac{N_{bc}!}{(N_{bc}-i)!} \cdot N_{TA}^i \cdot \frac{(N_A - N_{bc} \cdot N_{TA} \cdot K)!}{(N_A - N_{bc} \cdot N_{TA} \cdot K - N_c + i)!})] / \frac{N_A!}{(N_A - N_c)!}, N_c \geq N_{bc}}{[\sum_{i=1}^{N_c} (C_{N_c}^i \frac{N_{bc}!}{(N_{bc}-i)!} \cdot N_{TA}^i \cdot \frac{(N_A - N_{bc} \cdot N_{TA} \cdot K)!}{(N_A - N_{bc} \cdot N_{TA} \cdot K - N_c + i)!})] / \frac{N_A!}{(N_A - N_c)!}, N_c < N_{bc}} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $N_{bc}$  是一个边界区域内块的个数,  $N_c$  是区域  $A$  中总的车辆数目,  $N_A$  是区域  $A$  中最大的车辆数目,  $N_{TA}$  是一个块中最大的车辆数目。通过调节块的大小,  $N_{bc}$  值也会变化。

图3是转发范围内车辆的数目与成功转发概率的关系曲线。从图3(a)和图3(b)可知:当节点密度低时,应选择较大的块;当节点密度高时,应选择较小的块。对于任意

的节点密度,只要选择合适的块,即使  $K=1$ ,在边界区域成功转发的概率也是很高的。在车辆密度较高的场景下,只需使用单位块,而不需考虑时延的大小,因为这时一辆车以很小的时延成功转发的概率很高。注意到,虽然在有16个单元块的边界区域  $K$  中成功转发的概率比其他块低,但是当转发范围内车辆数目很低(如低于5)时,也可以使用16个单元块。这是因为在转发范围内块数越小,平均时延越小。因此,可以根据车辆密度自动地调节块的大小。比如,转发范围内车辆数目在5左右,块的初始值设为16;转发范围内车辆数目在9左右,块的初始值设为4;转发范围内车辆数目超过13,块的初始值设为1。

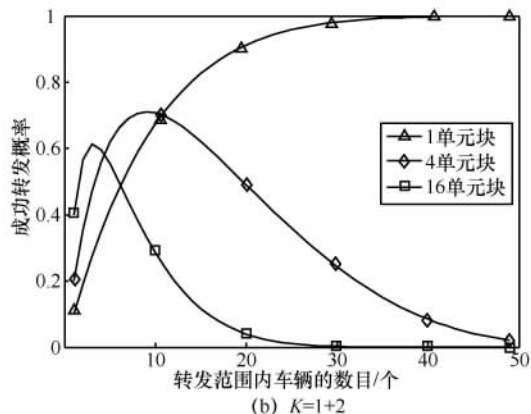
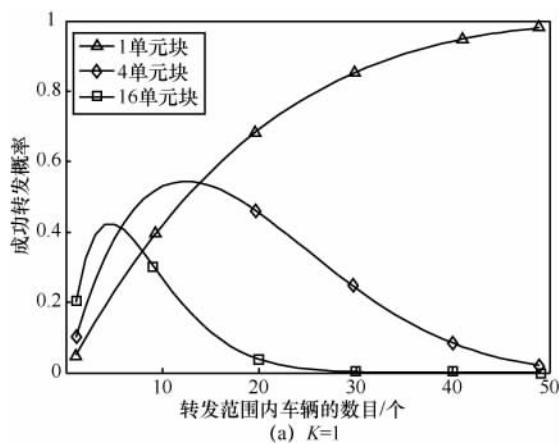


图3 转发范围内车辆的数目与成功转发概率的关系曲线

## 2.2 时延门限的设置

道路被分割好后,因为每辆车都能获得自己的位置,因此它们知道自己属于哪个块。因为车辆距离源节点越远,则其决定是否转发的等待时间越短,那么整个过程时延就越小,所以给每个块指定一个等待时间,其方法如下所示。



当车辆接收到数据分组时,其根据与源节点之间的距离计算等待时间。

$$T_{\text{wait}} = T_{\text{slot}} \left( \left\lceil \frac{D_y^{\max}}{O_y} \right\rceil \left\lceil \frac{D_x^{\max}}{O_x} \right\rceil - \left\lceil \frac{D \cdot \cos \gamma}{O_x} \right\rceil + \left\lceil \frac{D \cdot \sin \gamma}{O_y} \right\rceil \right) \quad (2)$$

其中,  $T_{\text{wait}}$  是车辆的等待时间,  $T_{\text{slot}}$  是时隙的持续时间,  $O_x$  和  $O_y$  分别为设置块的长和宽,  $D$  和  $\gamma$  分别为车辆与源节点之间的距离和角度,  $D_{\text{max}}$  和  $D_{\text{ymin}}$  分别为传播范围横坐标和纵坐标。那么,具有最小等待时间的车辆将转发数据分组。

此外,因为网络故障或没有车辆成功接收数据分组而导致没有车辆能够用来转发数据分组,所以该协议需要设置一个最大等待时间  $T_{\text{max}}$ 。当  $T_{\text{max}}$  到期时仍没有找到中继节点,则启动恢复过程(如携带转发)来确保数据的传输。 $T_{\text{max}}$  为:

$$T_{\text{max}} = T_{\text{slot}} \times \frac{\text{Area}}{O_x O_y} \quad (3)$$

其中,  $\text{Area}$  是转发范围的面积,  $\text{Area}(O_x, O_y)$  是转发范围内总的块数。

### 2.3 可靠性模型介绍

链路可靠性定义为在某个时间段内,两辆车之间直接通信的链路保持持续可用的概率。考虑到在  $t$  时刻,两辆车之间某个链路  $l$  在  $T_p$  时间段内持续可用,该链路可靠性定义如下:

$$r(l) = P\{t+T_p \text{ 时刻持续可用} | t \text{ 时刻链路可用}\} \quad (4)$$

为了计算链路可靠性,利用车辆的速度参数。假设车辆速度服从正态分布。根据这个假设,令  $g(v)$  为车速  $v$  的概率密度函数,  $G(v)$  为相应的概率分布函数,那么有:

$$g(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

$$G(v \leq V_0) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{V_0} e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}} dv \quad (6)$$

其中,  $\mu$  和  $\sigma^2$  分别为平均车速和方差。两辆车之间的距离  $d$  可以通过车辆的相对速度  $\Delta v$  和持续时间  $T$  获得,比如,  $d = \Delta v \times T$ , 这里  $\Delta v = |v_2 - v_1|$ 。因为  $v_1$  和  $v_2$  是正态分布随机变量,则  $\Delta v$  也是正态变量。令  $R$  为每辆车的传输半径,  $f(T)$  为通信持续时间的概率密度函数,计算如下:

$$f(T) = \frac{4R}{\sigma_{\Delta v} \sqrt{2\pi}} \frac{1}{T^2} e^{-\frac{\left(\frac{2R}{T} - \mu_{\Delta v}\right)^2}{2\sigma_{\Delta v}^2}} \quad (7)$$

其中,  $\mu_{\Delta v}$  和  $\sigma_{\Delta v}^2$  分别表示相对速度  $\Delta v$  的平均值和方差。假设每辆车都有 GPS 设备,可以提供位置、速度和方向信息。 $T_p$  定义为车辆  $i$  和车辆  $j$  之间某个链路  $l$  的持续可用性,计算如下:

$$T_p = \frac{R - L_{ij}}{v_{ij}} = \frac{R - \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (x_i - x_j)^2}}{|v_i - v_j|} \quad (8)$$

其中,  $L_{ij}$  为车辆  $i$  和车辆  $j$  的欧氏距离,  $v_{ij}$  为车辆  $i$  和车辆  $j$  的相对速度。可以通过对式(7)进行从  $t$  到  $t+T_p$  的积分来获得在  $t$  时刻链路持续  $T_p$  可用的概率。因此,链路可靠性计算如下:

$$r(l) = \begin{cases} \int_t^{t+T_p} f(T) dT, & T_p > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

式(10)中的积分可以通过高斯误差函数  $\text{erf}$  获得,计算如下:

$$r(l) = \text{erf} \left[ \frac{\left( \frac{2H}{t} - \mu_{\Delta v} \right)}{\sigma_{\Delta v} \sqrt{2}} \right] - \text{erf} \left[ \frac{\left( \frac{2H}{t+T_p} - \mu_{\Delta v} \right)}{\sigma_{\Delta v} \sqrt{2}} \right], \quad T_p > 0 \quad (10)$$

其中,  $\text{erf}$  定义如下:

$$\text{erf}(\tau) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau e^{-t^2} dt \quad (11)$$

## 3 实验结果与分析

本文利用 MATLAB 仿真软件对 RRPBVD 与 EG-RAODV<sup>[7]</sup> 的性能指标进行比较分析。选取长为 1 km、每个车道 4 m 的单向四车道高速公路作为研究区域;  $T_{\text{slot}} = 50 \mu\text{s}$ ; 每个车道的车速服从正态分布。使用典型的速度值,其分布见表 1。

表 1 速度分布

| $\mu/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$ | $V/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$ | $\Sigma/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$ |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| 30                                    | 约 40                                | 9                                        |
| 50                                    | 65                                  | 15                                       |
| 70                                    | 约 90                                | 21                                       |
| 90                                    | 约 120                               | 27                                       |
| 110                                   | 约 145                               | 33                                       |
| 130                                   | 约 170                               | 39                                       |
| 150                                   | 195                                 | 45                                       |

图 4 为传输半径与平均每条链路时延的关系曲线。从图 4 中可以看出:传输半径越大,源节点寻找的中继节点

距离目的节点越近,所以当节点数一定时,平均每条链路的时延随着传输半径的增大而减小;节点数变化时,平均每条链路的整个时延基本保持不变。这是因为RRPBVD根据节点密度确定等待时间 $T_{wait}$ ,当节点数小时,用来分割道路的块大,所以每一跳等待的时间小,但是此时节点的可连接性差,转发时可能找不到下一跳转发节点而被携带转发,从而导致转发时延增加;当节点数大时,情况相反。因此,综合考虑等待时延和转发时延,节点数变化时,平均每条链路的整个时延基本保持不变。

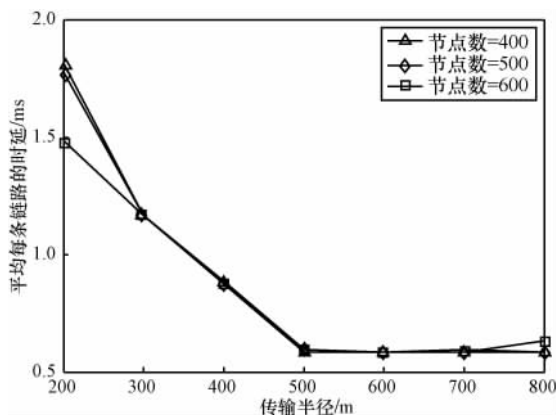


图4 传输半径与平均每条链路时延的关系曲线

图5为研究区域内传输半径与数据分组从源节点到目的节点平均跳数的关系曲线。从图5中可以看出:RRPBVD与EG-RAODV具有相同的变化规律,这是因为当传输半径增加时,选择的中继节点与源节点的距离相应增加,到达目的节点更快,则需要的平均跳数更少,所以RRPBVD与EG-RAODV的平均跳数都随着传输半径的增加而减少;当传输半径相同时,RRPBVD的平均跳数比EG-RAODV的平均跳数少。根据RRPBVD原理,其首先根

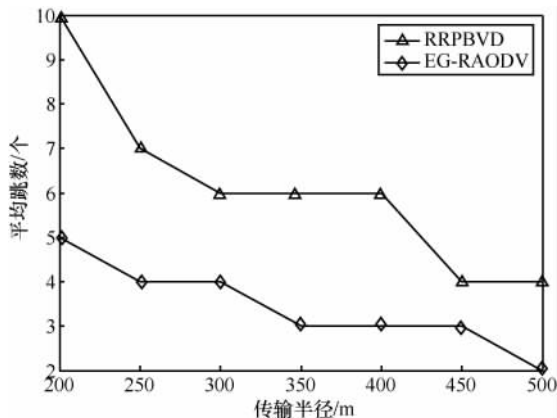


图5 传输半径与平均跳数的关系曲线

据节点密度找到距离源节点最远的块,然后在该块内根据可靠性确定中继节点,而EG-RAODV直接在传输范围内根据可靠性寻找中继节点,所以可能导致找到的中继节点距离源节点较近,因此,当传输半径相同时,RRPBVD的平均跳数比EG-RAODV的平均跳数少。可见,RRPBVD比EG-RAODV的转发次数少,搜索次数少,且能够尽快到达目的节点。

图6为研究区域内传输半径与平均每跳前进距离的关系曲线。从图6中可以看出:RRPBVD与EG-RAODV具有相同的变化规律,这是因为根据以上分析可知传输半径增加,平均跳数减小,又因为传输距离不变时平均每跳前进距离与平均跳数成反比,所以RRPBVD与EG-RAODV的平均每跳前进距离都随着传输半径的增加而增加;当传输半径不变时,RRPBVD的平均每跳前进距离比EG-RAODV的大。可见,RRPBVD与EG-RAODV相比,每一次朝着目的节点前进的距离更大。

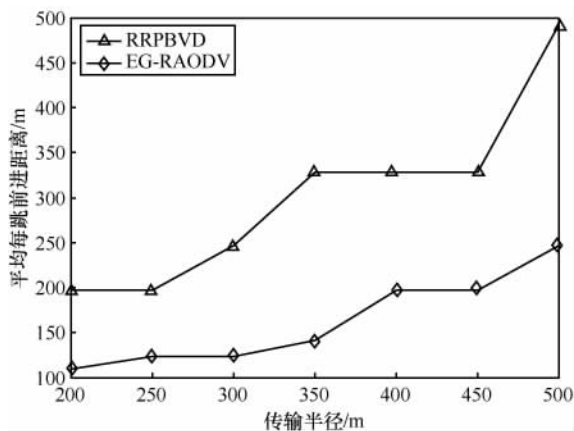


图6 传输半径与平均每跳前进距离的关系曲线

## 4 结束语

本文提出一种车载自组织网络中基于车辆密度的可靠性路由协议,首先转发节点根据车辆密度设置最优块的大小,并将转发范围分割成若干大小相等的块,然后选择其中一个距离转发节点最远的块,最后在被选中的块里根据可靠性原则选择连接时间最长的邻居节点作为中继节点进行转发。仿真结果表明,与EG-RAODV相比,所提路由协议能够降低转发节点在转发范围内寻找最优或次优节点的复杂度、减少平均跳数和增大平均每跳前进距离,能够使数据分组快速地到达目的节点。



## 参考文献:

- [1] LEE J F, WANG C S, CHUANG M C. Fast and reliable emergency message dissemination mechanism in vehicular ad hoc networks [C]//2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), April 18–21, 2010, Sydney, Australia. New Jersey: IEEE Press, 2010: 1-6.
- [2] CHUANG M C, CHEN M C. DEEP: density-aware emergency message extension protocol for VANETs [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(10): 4983-4993.
- [3] CHEN L W, PENG Y H, TSENG Y C. An infrastructureless framework for preventing rear-end collisions by vehicular sensor networks [J]. IEEE Communications Letters, 2011, 15(3): 356-360.
- [4] SORMANI D, TURCONI G, COSTA P, et al. Towards lightweight information dissemination in inter-vehicular networks [C]//2006 ACM VANET, September 29, 2006, Los Angeles, CA, USA. New York: ACM Press, 2006: 20-29.
- [5] LIN Y W, HUANG G T. Optimal next hop selection for VANET routing [C]//2012 7th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), August 8–10, 2012, Kunming, China. New Jersey: IEEE Press, 2012: 611-615.
- [6] KIRTIGA R, GNANAPRAKASI O S, KAVIPRIYA D, et al. Reliable graph based routing in VANET environment [C]//2014 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), April 10–12, 2014, Zurich, Switzerland. New Jersey: IEEE Press, 2014: 1-6.
- [7] EIZA M H, NI Q. An evolving graph-based reliable routing scheme for VANETs [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(4): 1493-1504.

## [作者简介]



蔡蓉 (1991–), 女, 南通大学电子信息学院硕士生, 主要研究方向为车载自组织网络。



章国安 (1965–), 男, 博士, 南通大学电子信息学院教授、博士生导师, 主要研究方向为无线通信网络理论与技术。



金丽 (1978–), 女, 博士后, 南通大学电子信息学院讲师, 主要研究方向为无线通信与网络安全。