

# 车载自组织网络中基于定向传播的自适应路由协议

蔡 蓉 章国安 季彦呈

(南通大学电子信息学院 南通 226019)

**摘 要** 数据分组在转发过程中需要在其转发范围内寻找一个中继节点进行转发。为了降低转发过程中寻找中继节点的复杂程度,减少从源节点到达目的节点的平均跳数,提出了一种车载自组织网络中基于定向传播的自适应路由协议(Adaptive Routing Protocol Based on Directional Transmission, ARPBDT)。该路由协议有两个关键参数:转发角度和平均每跳前进距离。首先为了缩小转发范围,设置一个始终朝着目的节点方向的转发角度,以减少转发范围内的节点数以及寻找中继节点的计算量;其次为了减少平均跳数,在转发范围内根据前进距离自适应地选择较优或次优的邻居节点作为中继节点进行转发。仿真结果表明,与 OBDR 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地到达目的节点。

**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

**中图法分类号** TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.5.011

## Adaptive Routing Protocol Based on Directional Transmission in VANETs

CAI Rong ZHANG Guo-an JI Yan-cheng

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

**Abstract** The relay node needs to be found in the range of forwarding when packets data is forwarded. In order to reduce the complexity of searching relay nodes and the average number of hops from source node to destination node in the process of forwarding, an adaptive routing protocol based on directional transmission in vehicular ad hoc networks was proposed. Forwarding angle and the average distance of one-hop progress are the two key parameters of the routing protocol. Firstly, in order to reduce the forwarding range, a forwarding angle always to awards the destination node is designed, which can reduce the number of nodes in the forwarding range and simplify the calculation of searching relay nodes. And then, in order to reduce the average number of hops, optimal or sub-optimal neighbor nodes are chosen adaptively as relay node based on the distance of progress in the forwarding range. Simulation results show that compared with the OBDR, the proposed adaptive routing protocol is superior in terms of both the average number of hops and the average distance of one-hop progress, with which the data packets can be transmitted quickly to the destination node.

**Keywords** Vehicular Ad hoc network, Routing protocol, Average number of hops, Average distance of one-hop progress

## 1 引言

车载自组织网络(Vehicular Ad Hoc Networks, VANETs)是移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Networks, MANETs)的一种特殊形式,以配备特殊电子装置的车辆为网络节点,通过无线局域网技术实现车辆间的通信。VANETs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),其特点有:

(1)网络节点快速移动,网络拓扑频繁变化,路径存活时间很短;

(2)无线链路不稳定,易受道路状况及车辆相对速度等因素的影响;

(3)网络节点分布不均匀,网络不一定连通。

如何寻找和维护从源节点到目的节点的路由,保证数据传输的实时性、完整性和有效性,是VANETs路由协议面临的重要问题之一。因此,当在VANETs环境下设计一个高效的路由协议时,需要考虑网络的连通性<sup>[1]</sup>。此外,VANETs的随机性和移动性,使得平均跳数成为一个多跳路由协议之间性能比较的重要指标。

在VANETs中已经有很多与路由协议理论分析有关的研究成果。文献[2]考虑到节点速度对连通性的影响,提出高速环境下车速服从高斯分布的网络连通性分析;文献[3]在车辆速度随机分布的前提下,提出车载自组织网络的连通性分析;文献[4]提出通过综合考虑传输功率和竞争窗口这两种因素来优化车载自组织网络的性能;文献[5]提出车载网络中基

到稿日期:2015-03-31 返修日期:2015-06-24 本文受国家自然科学基金资助项目(61371113,61401241),交通运输部应用基础研究资助项目(2013-319-825-110)资助。

蔡 蓉(1991-),女,硕士生,主要研究方向为车载自组织网络,E-mail:1334883789@qq.com;章国安(1965-),男,博士,教授,主要研究方向为无线通信网络理论与技术,E-mail:gzhang@ntu.edu.cn;季彦呈(1982-),男,博士,副教授,主要研究方向为协作通信、车载无线通信,E-mail:jijiancheng@ntu.edu.cn。

于方向的路由协议(OBDR),在源节点朝着目的节点的某个方向角度范围内选择距离源节点最远的节点进行转发;文献[6]使用如节点密度、簇的数目和链路时间等各种关键指标,在一种高速公路场景下提出关于VANETs拓扑特征的现实分析模型;为满足不同应用的服务质量,文献[7]应用蚁群算法计算可行路线,从而提出一种新颖的基于不同服务质量的安全可靠多约束路由协议;文献[8]提出一种基于可靠性的车载自组织网络路由算法,该算法在选择转发节点的过程中同时考虑位置和方向,进而提高转发节点选择的正确性来增加通信链路的可靠性。

通常情况下,因为最大传输距离较大,所以往往导致转发范围内节点数目很多,中继节点在转发范围内找到一个最优或次优节点进行转发的复杂度也会增加。此外,为了快速地到达目的节点,需要数据从源节点到目的节点的平均跳数越少越好。为了解决这两个问题,首先需要排除一些明显偏离目的节点方向的节点,在剩余节点中寻找中继节点进行转发,所以要减小寻找中继节点的转发范围;其次,平均跳数减少就是平均前进距离增加,因此要在转发范围里寻找前进距离较大的节点作为中继节点进行转发。根据以上问题和解决方案,本文提出基于定向传播的自适应路由协议。

## 2 基于定向传播的自适应路由协议

### 2.1 假设条件

(1)面积为 $A_s$ 的转发范围中平均节点数为 $N$ ,现定义: $N = \lambda A_s$ , $\lambda$ 为节点密度。

(2)网络中的节点是服从密度为 $\lambda$ 的二维泊松点过程,比如面积 $A_s$ 的区域中含有 $k$ 个节点的概率计算如下:

$$P(\text{在面积为 } A_s \text{ 的区域内有 } k \text{ 个节点}) = \frac{(\lambda A_s)^k e^{-\lambda A_s}}{k!}, m=0,1,2,3,\dots \quad (1)$$

(3)考虑三车道单向高速公路的转发,即数据分组沿着车辆移动的方向转发。

(4)每个节点的传输半径为 $R$ ,转发角度为 $2\theta$ 。

(5)任意一辆车离路边的距离为 $b$ 。

(6)每辆车都配备有GPS接收器、电子地图和传感器,车辆之间使用无线车载网络通信,且没有其它通信基础设施。

(7)前进距离定义为数据分组发送节点和数据分组接收节点之间的距离在数据分组发送节点与目的节点方向上投影的距离。如图1所示, $S$ 为源节点或数据分组转发节点, $D$ 为目的节点, $F$ 为数据分组接收节点,距离 $z$ 就是前进距离。

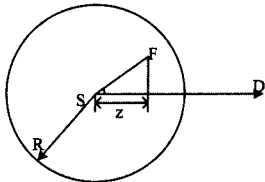


图1 前进距离示意图

### 2.2 转发范围的确定

当在VANETs中转发安全数据分组时,如何将数据分组从源节点快速地转发到目的节点一直是研究的重点。为了解决这个问题,就要增大需要转发的数据分组从源节点到目的节点之间每一跳的前进距离,从而能够使该转发的数据分组快速地到达目的节点。从传统的路由协议(见图2)可知,节点 $M$ 和节点 $N$ 都是源节点 $S$ 的邻居节点,源节点 $S$ 需要转发数据分组时,会按照一定的算法在其邻居节点中选择一个

中继节点进行转发。虽然传统的路由协议能够实现数据分组的转发,但是当邻居节点数目很多时,则会增加寻找中继节点的计算量,从而引起较大的延时。

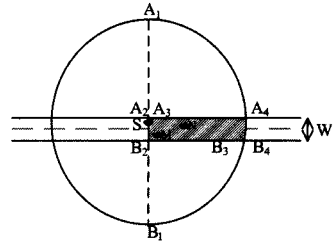


图2 传统的路由协议的阴影区域

为了减少搜索过程中的计算量,提出一种定向传播路由协议,其设计一个转发角度使源节点只在转发方向上某个很小的角度范围内进行转发,从而很好地排除前进距离小的节点和偏离前进方向的节点。比如,当源节点 $S$ 需要转发数据分组时,该节点会在其移动方向上选取 $2\theta$ 角度的扇形区域进行转发。又因为车辆沿道路分布,所以将整个扇形区域作为转发区域是不合理的,于是本文选取该扇形区域与道路相重叠的区域作为转发区域,即获得如图3中的阴影区域所示的转发范围。

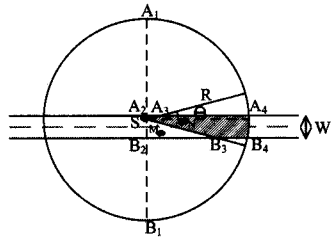


图3 定向传播路由协议的转发范围

转发角度的确定和邻居节点的判断如图4所示,推导过程如下。

设源节点或转发节点坐标为 $(x_s, y_s)$ ,目的节点坐标为 $(x_d, y_d)$ ,则转发角度范围为

$$\phi = (\arcsin(\frac{y_d - y_s}{\sqrt{(x_s - x_d)^2 + (y_s - y_d)^2}}) - \theta, \arcsin(\frac{y_d - y_s}{\sqrt{(x_s - x_d)^2 + (y_s - y_d)^2}}) + \theta) \quad (2)$$

假设任意节点 $i$ 的坐标为 $(x_i, y_i)$ ,则任意节点与源节点或转发节点的夹角为

$$\theta_i = \arcsin(\frac{y_i - y_s}{\sqrt{(x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2}}) \quad (3)$$

如果 $\theta_i \in \phi$ ,则表明节点 $i$ 为转发范围内的邻居节点。

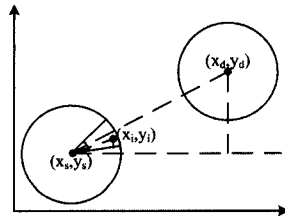


图4 节点坐标二维分布图

### 2.3 转发策略

转发范围和邻居节点确定以后,如何在转发范围内找到一个前进距离最优或次优的节点作为中继节点是一个关键的问题。该路由协议的转发策略如图5所示, $S$ 为源节点, $D$ 为目的节点, $A, B, C, E$ 为邻居节点。由图可知,节点 $E$ 在源节

点到目的节点连线方向上的前进距离最大;所以节点 E 接收到数据分组时,即为中继节点并且转发数据分组;节点 A、B、C 的前进距离依次接近  $R/4$ 、 $R/2$ 、 $3R/4$ , 所以它们接收到数据分组时,依次等待一定的时间,等待是否存在比自己更优的节点可以作为中继节点进行转发,若存在,则该节点不作为中继节点;若不存在,则其为中继节点。

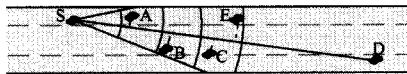


图 5 转发策略示意图

综上,在 ARPBDT 中,作为地理位置服务器的网关负责保存地区网络拓扑的最新位置信息,基于区域的位置服务管理协议(Region-based Location-service-management Protocol, RLSMP)<sup>[9]</sup> 对该信息进行处理。具体地说,当一个节点移动到比之前位置更远的传输范围内,这个节点就会向网关发送它的最新位置信息,信息包括节点 ID、传输半径  $R$ 、节点位置坐标、最新更新信息。当有源节点需要传输数据分组给目的节点时,应用 ARPBDT,其实现步骤如下。

(1) 令源节点为当前节点。

(2) 计算当前节点与目的节点之间的距离,若该距离小于传输半径  $R$ ,则当前节点直接将数据分组转发给目的节点,结束本次通信;若该距离大于传输半径  $R$ ,则通过当前节点和目的节点的位置计算转发角度,进而确定转发范围,发射数据分组。

(3) 传输范围内的各节点接收数据分组,解析数据,各节点根据节点坐标计算信号发送距离,再根据发送距离在当前节点与目的节点方向上的投影计算出前进距离,如果接近  $R$ ,则表明节点朝着目的节点方向前进最多,优先作为转发节点发送应答信号;如果节点计算的前进距离分别接近  $3R/4$ 、 $R/2$ 、 $R/4$ ,则依次延时一定的时间,等待其它邻居节点的应答信号,如收到其他节点的应答信号,就不参与中继通信,如未收到应答信号,则作为备选的中继节点发送应答信号,参与中继通信。此时,将该节点作为当前节点跳转至步骤(2)继续发送数据,直至数据分组最终传输到目的节点。

#### 2.4 恢复策略

因为该路由协议是在某个角度范围内寻找中继节点,转发范围明显减小,所以在转发范围内的节点数目也明显减少,甚至可能出现没有节点的情况。当节点找不到中继节点时,启用路由错误恢复策略,恢复策略采用携带转发和重新寻址两种方式。如图 6 所示,当节点 B 需要转发数据分组时,在其转发范围内找不到中继节点,启用恢复策略。首先,节点 B 将数据分组回溯到上一跳节点,即节点 A,由节点 A 在其转发范围内除节点 B 以外的其它节点中根据转发策略寻找次优节点,如在  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  中找到次优节点  $D_2$  进行转发,同时,节点 B 携带数据分组前进,直到遇到可以转发的节点,如节点 C。



图 6 路由恢复策略示意图

### 3 基于定向传播的自适应路由协议的分析

#### 3.1 可行性分析

在 VANETs 中,因为转发范围有限,而一般情况下源节点距离目的节点很远,所以一个节点在其转发范围内将数据分组转发给其邻居节点。在 VANETs 中两个节点之间的路

由经常是通过建立多跳来实现的,即多跳路由协议。本文建立的 ARPBDT 也是一种多跳路由协议。如果在某种路由协议中任何一辆车在其转发范围内都能够找到另一辆或者其它更多的车,那么这个路由协议能够支持多跳路由。所提路由协议的可行性分析如下。

首先,图 3 阴影区域的面积  $A_s$  为:

$$A_s = \frac{1}{2} \pi R^2 - S(A_1 A_2 A_4) - S(B_1 B_2 B_4) - S(OA_2 A_3) - S(OB_2 B_3) \quad (4)$$

其中,

$$S(A_1 A_2 A_4) = \frac{R^2}{2} \arccos\left(\frac{b}{R}\right) - \frac{b}{2} \sqrt{R^2 - b^2}$$

$$S(B_1 B_2 B_4) = \frac{R^2}{2} \arccos\left(\frac{W-b}{R}\right) - \frac{W-b}{2} \sqrt{R^2 - (W-b)^2}$$

$$S(OA_2 A_3) = \frac{b}{\tan(\theta)} \times b \times \frac{1}{2}$$

$$S(OB_2 B_3) = \frac{W-b}{\tan(\theta)} \times (W-b) \times \frac{1}{2}$$

根据以上假设,则令  $X$  代表阴影区域节点数的随机变量,那么阴影区域有  $n$  个节点的概率为:

$$P_{A_s}(X=n) = \frac{(\lambda A_s)^n e^{-\lambda A_s}}{n!} \quad (5)$$

其中, $\lambda$  为节点密度。

其次,在阴影区域至少选择  $k$  个节点的概率为:

$$P(\text{至少 } k \text{ 个节点}) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda A_s)^i}{i!} e^{-\lambda A_s} \quad (6)$$

最后,从式(6)容易得到阴影区域至少一个节点的概率:

$$P = 1 - P(X=0) = 1 - e^{-\lambda A_s} \quad (7)$$

同样地,阴影区域没有节点的概率为:

$$P(X=0) = e^{-\lambda A_s} \quad (8)$$

图 7 显示在长为 1km、每个车道为 3.5m 的单向三车道高速公路上,当  $\lambda = 0.001 \text{ veh/m}^2$ 、 $\lambda = 0.0015 \text{ veh/m}^2$ 、 $\lambda = 0.002 \text{ veh/m}^2$  和  $\lambda = 0.0025 \text{ veh/m}^2$  时阴影区域  $A_s$  中至少找到  $k$  个节点的概率。从图 7 可以看出,当  $\lambda$  大于或等于  $0.002 \text{ veh/m}^2$  时,在转发范围内找到一辆或者其它更多车的概率接近于 1,所以任何一辆车至少在一辆其它车的转发范围内,从而能够支持多跳路由协议;当  $\lambda$  小于  $0.002 \text{ veh/m}^2$  时,在转发范围内找到一辆或者其它更多车的概率小于 1,从而可能不支持多跳路由协议,因此有时需要启用错误恢复策略。

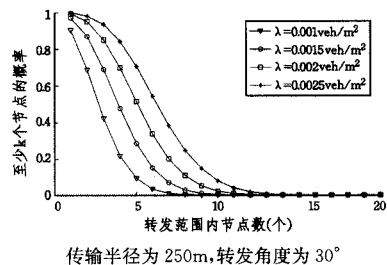


图 7 阴影区域至少找到  $k$  个节点的概率

#### 3.2 连通性分析

将在三车道单向高速公路上汽车的行驶过程作为节点的移动过程,并选取长为  $L$ 、宽为  $W$  的高速公路作为研究区域来计算该路由协议的连通概率。车辆在研究区域内以不同的速度移动。假设随机变量  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ,  $v_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 代表第  $i$  辆车的速度。研究表明在自由移动状态下,不同车辆的速度服从高斯分布且相互独立。因此,假设车辆速度服从平均速度为  $\mu$ 、标准差为  $\sigma$  的高斯分布,其概率密度函数为:

$$f_v(v) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

为了避免车速为负值、极大值或者接近于零的值,定义两个极限速度,如最大速度  $v_{\max}$  和最小速度  $v_{\min}$ 。因此,考虑截断高斯分布,截断高斯分布的概率密度函数如下:

$$g_v(v) = \frac{f_v(v)}{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} f_v(u) du} \quad (10)$$

其中,  $v_{\min} = \mu - 3\sigma$ ,  $v_{\max} = \mu + 3\sigma$ , 将  $v_{\min}$  和  $v_{\max}$  代入式(10)可得:

$$g_v(v) = \frac{2f_v(v)}{\operatorname{erf}\left(\frac{v_{\max}-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{v_{\min}-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)} \quad (11)$$

其中,  $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$ 。

因为  $\eta = \lambda V$ , 所以  $\lambda_{avg} = \eta E(V^{-1})$ , 其中,  $\lambda_{avg}$  为平均车辆密度,  $\eta$  为车流量。因此,速度为  $V$  的研究区域内的平均车辆密度为:

$$\lambda_{avg} = \eta E(V^{-1}) = \eta \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} v^{-1} g_v(v) dv \quad (12)$$

但是,上述积分含有乘积项  $v^{-1}$  和截断正态分布,因此这个积分需要采用数值积分的方法,如梯形积分法。

由于在高速公路上汽车的速度随机变化,因此某个范围内车辆的数目也是随机变化。在稳定状态下,长为  $L$ 、宽为  $W$  的研究区域内平均车辆数目为:

$$N_{avg} = \lambda_{avg} LW \quad (13)$$

如果存在一条路径连接着任何一辆车,那么认为该网络是连通的。如果两辆车之间的距离小于传输半径,那么认为这两辆车是连通的。因为高速公路上任何两辆连续车辆之间的距离服从参数为  $\lambda_{avg}$  的指数分布,所以两辆连续车辆之间的连通概率为  $1 - e^{-\lambda_{avg}R}$ 。因此,网络连通概率计算如下:

$$P_c = (1 - e^{-\lambda_{avg}R})^{N_{avg}-1} \quad (14)$$

网络不连通的概率:

$$P_{dc} = e^{-\lambda_{avg}R} \quad (15)$$

图 8 显示在不同车流量  $\eta$  下,连通概率与传输半径之间的关系曲线。由图 8 可知,网络连通概率随着车流量  $\eta$  的增加而增加,这是因为车流量的增加导致高速公路上平均车辆的数目增加。此外,网络连通概率随着传输半径的增加而增加。

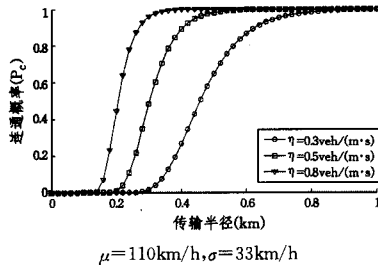


图 8 连通概率与传输半径的关系曲线

#### 4 数值计算与仿真结果

本文利用 MATLAB 仿真软件对 ARPBTD 与 OBDR<sup>[5]</sup> 的性能指标进行比较分析。

仿真参数如下:

(1) 选取长为 1km、每个车道为 3.5m 的单向三车道高速公路作为研究区域;

(2) 转发角度为  $30^\circ$ 。

图 9 是转发角度  $2\theta$  与转发范围内包含节点比例的关系

曲线。从图 9 可知,当节点数和传输半径  $R$  不变时,转发范围内包含节点的比例随着转发角度的增大而增大;当节点数和转发角度  $2\theta$  不变时,转发范围内包含节点的比例随着传输半径  $R$  的增加而增加;当传输半径  $R$  和转发角度  $2\theta$  不变时,转发范围内包含节点的比例随着节点数的增加而增加。

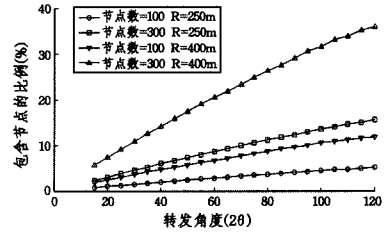


图 9 转发角度内包含节点的比例

图 10 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 10 可知, ARPBTD 与 OBDR 的平均跳数都是随着传输半径的增加而减少,这是因为当传输半径增加时,选择的中继节点距离目的节点更近,所以到达目的节点更快,需要的平均跳数更少;当传输半径不变时, ARPBTD 的平均跳数始终比 OBDR 的平均跳数少,这是因为 ARPBTD 始终自适应选择前进距离最大的节点作为中继节点,能够使得数据包朝着目的节点方向前进更大距离,所以数据包达到目的节点所需要的平均跳数较少。可见, ARPBTD 比 OBDR 的转发次数少,搜索次数少,且能够尽快地到达目的节点。

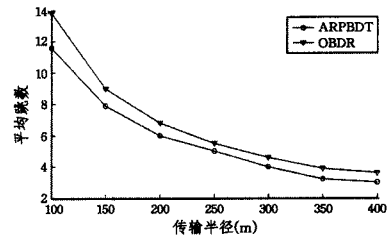


图 10 传输半径与平均跳数的关系曲线

图 11 为研究区域内传输半径与平均每跳前进距离的关系曲线。 ARPBTD 与 OBDR 的平均每跳前进距离都是随着传输半径的增加而增加,这是因为当传输半径增加时,选择前进距离较大的节点作为中继节点的概率更大,所以平均前进距离越来越大;当传输半径不变时, ARPBTD 由于每一跳都自适应选择前进距离最大的节点作为中继节点,因此其平均每跳前进距离始终比 OBDR 的平均每跳前进距离大。可见,与 OBDR 相比, ARPBTD 每一次向目的节点前进的距离更大。

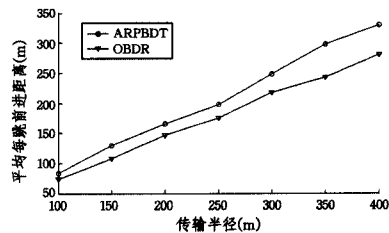


图 11 传输半径与平均每跳前进距离的关系曲线

**结束语** 本文针对 VANETs 中路由协议的快速转发问题,提出一种车载自组织网络中基于定向传播的自适应路由协议。该路由协议与其他协议的不同之处在于设置两个重要参数:转发角度和平均每跳前进距离。转发角度可以减小转发范围内节点数和寻找中继节点的计算量;根据平均每跳前

进距离可以自适应地选择较优或次优的邻居节点作为中继节点进行转发。与 OBDR 进行性能比较分析表明, ARPBTD 的平均跳数较小, 平均每跳前进距离较大, 能够使数据分组快速地到达目的节点。

## 参 考 文 献

- [1] Golmohammadi P, Mokhtarian P, Safaei F, et al. An analytical model of network connectivity in vehicular ad hoc networks using spatial point processes[C]// Proceedings of 2014 IEEE 15th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks(WoWMoM). Sydney, NSW, 2014; 1-6
- [2] Muhammed Ajeer V K, Neelakantan P C, Babu A V. Network connectivity of one-dimensional networks vehicular ad hoc network[C]// Proceedings of IEEE 2011 International Conference on Communications and Signal Processing(ICCSP). Calicut, India, 2011; 241-245
- [3] Keykhaie S, Mahmoudifar A. Study of connectivity in a vehicular ad hoc network with random node speed distribution[C]// 6th International Conference on New Technologies, Mobility and Security(NTMS). Dubai, 2014; 1-4
- [4] Rawat D B, Popescu D C, Gongjun Yan, et al. Enhancing VA-

NET performance by joint adaptation of transmission power and contention window size[J]. IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems, 2011, 22(9): 1528-1535

- [5] Soua A, Ben-Ameur W, Afifi H. Broadcast-based Directional routing in vehicular ad-hoc networks[C]// 2012 5th Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference(WMNC). Bratislava, 2012; 48-53
- [6] Akhtar N, Ergen S C, Ozkasap O. Vehicle Mobility and Communication Channel Models for Realistic and Efficient Highway VANET Simulation[J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2015, 64(1): 248-262
- [7] Eiza M H, Owens T, Ni Q. Secure and Robust Multi-Constrained QoS Aware Routing Algorithm for VANETs [J]. IEEE Transaction on Dependable and Secure Computing, 2015(99): 1-13
- [8] Feng Hui-fang, Zhao Liang, Wang Meng-ru. A Routing Algorithm based on Reliability in VANETs[J]. Microelectronic & Computer, 2014, 31(10): 64-68(in Chinese)  
冯慧芳, 赵亮, 王梦茹. 一种基于可靠性的车载自组织网络路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(10): 64-68
- [9] Saleet H, Basir O, Langar R, et al. Region-based location-service-management protocol for VANETs [J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2010, 59(2): 917-931

(上接第 50 页)

- 赫南, 李德毅, 淦文燕, 等. 复杂网络中重要性节点发掘综述[J]. 计算机科学, 2007, 34(12): 1-5
- [2] Domingos P, Richardson M. Mining the network value of customers[C]// The 7th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining(KDD). San Francisco, CA, 2001; 57-66
- [3] Domingos P, Richardson M. Mining knowledge-sharing sites for viral marketing[C]// The 8th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining(KDD). Edmonton, Canada, 2002; 61-70
- [4] Kempe D, Kleinberg J M, Tardos É. Maximizing the spread of influence through a social network[C]// The 9th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining(KDD). Washington D C, 2003; 137-146
- [5] Nemhauser G, Wolsey L, Fisher M. An analysis of the approximations for maximizing submodular set functions[J]. Mathematical Programming, 1978, 14(1): 265-294
- [6] Even-Dar E, Shapira A. A note on maximizing the spread of influence in social networks[M]// Internet and Network Economics; Third International Workshop, WINE 2007, San Diego, CA, USA, Dec 12-14, 2007. 2007; 281-286
- [7] Lahiri M, Cebrian M. The genetic algorithm as a general diffusion model for social networks[C]// The Twenty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence. Atlanta, Georgia, 2010; 494-499
- [8] Goldenberg J, Libai B, Muller E. Talk of the network; A complex systems look at the underlying process of word-of-mouth [J]. Marketing Letters, 2001, 12(3): 211-223
- [9] Granovetter M. Threshold models of collective behavior [J]. American Journal of Sociology, 1978, 83(6): 1420-1443
- [10] Shapley L S. A value for n-person games[M]// Kuhn H W, Tucker A W, eds. Contributions to the Theory of Games II. Princeton University Press, 1953; 307-317
- [11] Owen G. Values of games with a priori unions[M]// Henn R, Moeschlin O, eds. Mathematical Economics and Game Theory;

Essays in Honor of Oskar Morgenstern. Springer-Verlag, Berlin, 1977; 76-88

- [12] Scott J. Social Network Analysis: A Handbook (2nd Ed) [M]. Sage: London, 2000
- [13] Caulier J F. Network Games as TU Cooperative Games: The Core, the Shapley Value and Simple Network Games[OL]. [http://centres.fusl.ac.be/CEREC/document/seminars/caulier\\_cerec\\_feb2009.pdf](http://centres.fusl.ac.be/CEREC/document/seminars/caulier_cerec_feb2009.pdf)
- [14] Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L, et al. Introduction to Algorithms(2nd ed)[M]. Cambridge, MA; MIT Press, 2001
- [15] Guimerà R, Amaral L A N. Functional cartography of complex metabolic networks[J]. Nature, 2005, 433: 895-900
- [16] Clauset A, Newman M E J, Moore C. Finding community structure in very large networks[J]. Physical Review E, 2004, 70(6): 066111(6)
- [17] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512
- [18] Leskovec J, Kleinberg J, Faloutsos C. Graphs over time; Densification laws, shrinking diameters and possible explanations[C]// The 11th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining(KDD). Chicago, Illinois, USA, 2005; 177-187
- [19] <http://dblp.uni-trier.de>
- [20] Viswanath B, Mislove A, Cha M, et al. On the evolution of user interaction in Facebook[C]// The 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Social Networks(WOSN). Barcelona, Spain, 2009; 37-42
- [21] <http://www-2.cs.cmu.edu/~enron>
- [22] Mislove A, Marcon M, Gummadi K P, et al. Measurement and analysis of online social networks[C]// The 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference(IMC). San Diego, California, USA, 2007; 29-42
- [23] Chen Q, Chang H, Govindan R, et al. The origin of power laws in Internet topologies revisited[C]// The 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Los Alamitos, CA, USA, 2002; 608-617
- [24] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of "small-world" networks[J]. Nature, 1998, 393: 440-442