

一种面向高速路车联网场景的 自适应路由方法

张德干^{1,2}, 崔玉亚^{1,2}, 陈 晨^{1,2}, 刘晓欢^{1,2}, 牛红莉^{1,2}

(1. 天津理工大学计算机视觉与系统教育部重点实验室, 天津 300384;
2. 天津理工大学智能计算及软件新技术天津市重点实验室, 天津 300384)

摘 要: 车载自组织网络中节点的高速移动性使得网络拓扑频繁变化, 造成路由效率低下. 本文提出了一种面向高速路车联网场景的自适应路由方法. 本方法采用了贪婪机会转发(GOF)算法, 在选择下一跳转发节点时, 同时考虑到目的节点的距离计算、节点间的链路状态以及下一跳的有效节点度状况来找出最优转发节点, 并提出新的计算连通概率的方法. 仿真实验和实际道路场景的测试表明, 与相关算法相比在路由稳定性方面表现出较好的效果.

关键词: 转发节点; 连通性; 车联网; 自适应; 路由

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2020)01-0172-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2020.01.021

An Adaptive Routing Method for High-Speed-Road Scenario of the Internet of Vehicle

ZHANG De-gan^{1,2}, CUI Yu-ya^{1,2}, CHEN Chen^{1,2}, LIU Xiao-huan^{1,2}, NIU Hong-li^{1,2}

(1. Key Laboratory of Computer Vision and System (Ministry of Education), Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China;
2. Tianjin Key Laboratory of Intelligent Computing & Novel Software Technology, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: The high-speed mobility of the nodes makes the network topology change frequently, and the transmission path can be easily interrupted, so the routing efficiency is lower in Vehicular ad hoc network (VANET). We present an adaptive routing method for high-speed-road scenario of the Internet of Vehicle in this paper. This method uses Greedy Opportunity Forwarding (GOF) algorithm to find the optimal forwarding node when the next hop forwarding node is selected and it takes into account the distance calculation of the destination node, the link state between the nodes and the effective node degree of the next hop. We propose a new method to calculate the probability of connectivity. The simulation results and tests of the actual high-speed-road scenario show that our RAR method has good performance in the stability of routing, which is compared with the relative algorithms.

Key words: forwarding node; connectivity; internet of vehicle; self-adaptive; routing

1 引言

随着通信技术的不断发展, Vehicular Ad hoc Networks (VANETs)^[1] 成为智能交通系统设计中至关重要的一部分, 许多研究机构已经开始致力于这方面的研究^[2,3]. 在智能交通系统中, VANETs 能够实现许多安全与非安全方面的应用^[4-7]. 为了满足不同场景下, 不同应用的需求, 设计一个能够适应于不同场景, 而且有着

高可靠性、低时延的路由协议成为了首要解决的问题.

VANETs 中车辆节点本身有着强大的运算以及存储能力, 而且不需要考虑能量问题. 但是其运动方向及运动速度受特定环境影响比较大, 在不同的场景下其拓扑变化表现出不同的特点^[8-10]. 例如, 在高速场景中, 由于车辆运动速度快, 车辆节点密度小, 网络拓扑变化相当剧烈, 使得节点间的通信极其不可靠.

考虑到 VANET 的特殊性, 传统的路由算法并不能

收稿日期: 2018-06-03; 修回日期: 2019-01-09; 责任编辑: 张龔翔

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61571328); 天津市重大科技专项(No. 15ZXDSCGX00050, No. 16ZXFVGX00010); 天津市科技支撑重点项目(No. 17YFZCGX00360); 天津市自然科学基金(No. 15JCYBJC46500); 天津市科技创新和 131 人才团队(No. TD12-5016, No. TD13-5025, No. 2015-23)

表现出很好的性能^[11-17]. 随着 GPS 的普及,许多基于地理位置的路由算法已经被提出,而且在 VANETs 网络中表现出了很好的性能. 我们深入研究了基于地理位置的路由算法,提出了一种基于高速路场景的自适应路由算法(RAR). 该算法充分考虑了不同场景下车辆的速度,以及密度的差异,实现了一种能够在不同场景下自适应调整信标发送数据包的发送间隔的机制,来满足邻居表更新时间的要求^[18-21].

2 问题分析与建模

2.1 问题分析

假设每一辆车都知道自己的地理位置,以及速度信息. 在整个网络中每一辆车有且仅有唯一的 ID,且每一个节点中保存一张邻居节点列表. 每个节点通过周期性的向其邻居节点广播自己 ID 以及位置信息来更新邻居表. 如图 1 所示,在一个道路宽为 mW ,其中车道宽度为 W ,车道数为 m 的,车辆密度为 λ ,且车辆节点的广播距离为固定的 R . V_s 节点要发送一个数据包给 V_D 节点. 传统的贪婪路由算法只考虑下一跳转发节点与目的节点的距离,因此会选择 V_1 成为下一跳转发节点. 但是由于车辆的快速运动以及信号的衰减就会出现 V_1 收到错误的数据包或由于能量小于数据包的阈值而被丢弃. 从而影响链路质量以及稳定性.

贪婪路由算法的特点是在寻找出下一跳转发节点时总是寻找比当前节点距离目的节点更近的节点成为候选节点. 由于车辆的运动都是按照固定的路线,这样就会形成一个候选节点域,根据贪婪路由算法,在属于发送节点的中继选择区域 The Relay Selection Region (RSR) 的节点中选择中继,如图 1 中蓝色区域.

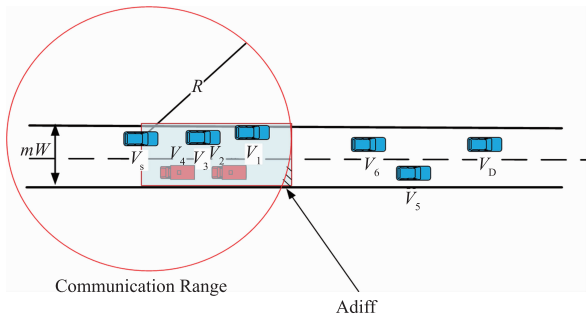


图1 基本车载网络模型

我们假设理想区域为红色矩形,面积为 A_{ideal} ,实际广播区域为蓝色,面积为 A_{real} ,那么阴影面积

$$A_{diff} = A_{ideal} - A_{real}$$

定义 1 包递交率 目的节点接收到数据包的数量与发送节点发出的总的数据包的比例.

定义 2 端到端的延迟 是指一个数据包从源节点到达目的节点所花费的时间.

定义 3 跳数计算 是指从源节点到目的节点所经过的节点的数目.

引理 1 在车联网中,道路宽为 W ,道路的数为 m ,传输范围是 R ,节点密度为 λ ^[22]. 那么中级选择区 RSR 中不存在节点的概率为

$$P_n = e^{-\lambda A_{diff}} \quad (1)$$

经计算

$$A_{diff} = (R^2/2)(g(W/2R) + g((2m-1)W/2R)) \quad (2)$$

其中

$$g(x) = x(2 - \sqrt{1-x^2}) - \arcsin x \quad x \in (0, 1]$$

更进一步,当道路宽度满足 $mW < 2\sqrt[3]{(3\varepsilon/\lambda)R}$ 时,其中 ε 为可以接受的误差,可以得到 $\lambda A_{diff} < \varepsilon$,所以道路宽度可以忽略的概率远大于 $e^{-\varepsilon}$.

证明 ①当 $m=1$ 时,在这种情况下,RSR 的差值等于阴影区域 A_{diff} 的面积,如图 1 所示. 它的大小是 RSR 中 A 的理想尺寸减去 A 的真实尺寸,如下

$$\begin{aligned} A_{diff} &= A_{ideal} - A_{real} \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \left(R + R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{W}{2}\right)^2} \right) \frac{W}{2} - \frac{\arcsin \frac{W}{2R}}{2\pi} \pi R^2 \right) \\ &= R^2 \left(\frac{W}{2R} \left(2 - \sqrt{1 - \left(\frac{W}{2R}\right)^2} \right) - \arcsin \frac{W}{2R} \right) \\ &= R^2 g\left(\frac{W}{2R}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

②当 $m > 1$ 时,在这种情况下,RSR 的差值等于阴影区域 A_{diff} 的面积,如图 1 所示. 它的大小是 RSR 中 A' 的理想尺寸减去 A' 的真实尺寸,如下

$$\begin{aligned} A_{diff} &= A'_{idea} - A'_{real} \\ &= \frac{1}{2} (A_{idea} - A_{real}) - \frac{\pi R^2}{2\pi} \arcsin \left(\frac{(m - \frac{1}{2})W}{R} \right) \\ &\quad + \frac{2m-1}{4} W \left(R + R - \sqrt{R^2 - \left(m - \frac{1}{2}\right)^2 W^2} \right) \\ &= \frac{R^2}{2} \left(g\left(\frac{W}{2R}\right) + g\left(\frac{(2m-1)W}{2R}\right) \right) \end{aligned} \quad (4)$$

当广播半径取值 $R=150$,车辆密度 $\lambda=0.006$,车道数为 4 车道,车道宽 3.5 米时,道路宽度几乎可以忽略. 这时我们将建立网络拓扑模型,如图 2 所示.

2.2 模型建立与分析

由于道路宽度可以忽略,图 2 中,本文提出的路由算法在评估一跳链路质量时,充分考虑了节点间的相对位移、包准确率以及链路的维持时间,使得当 V_s 与 V_3 满足数据包转发时的最低链路要求时,也会成为下一跳转发节点的候选节点. 同时为了减小数据包传输的延迟时间,通过加入了对转发节点的有效邻居节点密度的考察. 如图 2 中,当 V_3 满足数据包转发的要求时,

的条件概率密度函数. 在评估 GF 的性能之前, 我们需要定义两个函数. 定义函数 $\varphi(u)$

$$\varphi(u) = 1 - e^{-u} - ue^{-u}, u > 0 \quad (12)$$

定义函数 $\varphi(u, v)$

$$\varphi(u, v) = 1 - e^{-u} - ue^{-v}, v \geq u > 0 \quad (13)$$

然后, 我们拥有属性 $\varphi(u, v) = \varphi(u) + u(e^{-u} - e^{-v}) \geq 0$.

(1) 跳数: 和二维的车辆网相比, GF 算法在多级车辆网中展现更高的跳数.

(2) 递交率: 我们给出了一个实例, 即 GF 算法的递交率在多级 VANET 中降低.

3 RAR 路由算法

3.1 评估

为了保证路由路径的可靠性, 我们必须保证每一跳节点间链路的可靠性. Reliably Greedy Perimeter Stateless Routing Algorithm (RGPSR) 路由协议利用链路状态 ls 这个指标来评估节点间的链路状态. 链路状态 ls 由链路的稳定性以及传输的质量这两个指标来评估.

(1) 链路的稳定性评估

本文利用相对位移的变化量来衡量节点间链路的稳定性. 节点间的距离公式如下:

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (14)$$

在这里 (x, y) 表示发送节点, (x_i, y_i) 一跳邻居节点. 那么节点间的相对位移可以利用以下公式来得到:

$$L_{\text{stability}} = 1 - \frac{|d_i(t) - d_i(t-1)|}{R} \quad (15)$$

其中 R 为广播半径, 为一个固定常量. $d_i(t)$ 表示 t 时刻发送节点与一跳邻居节点的距离. 通过评估节点间相对位移的变化量, 我们可以知道变化量越小, 那么链路就越稳定.

(2) 链路质量评估

由于发送节点发送的数据包远大于信标数据包, 所以我们给出一种利用基于视频传输的模型, 利用节点接收的包错误率来评估节点间的链路质量. 每个节点接收到的信号的能量为:

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi)^2 (d/\lambda_3)^r} \left[1 + \eta^2 + 2\eta \cos\left(\frac{4\pi h^2}{d\lambda_3}\right) \right] \quad (16)$$

其中, P_r 为接收到的能量, P_t 为发送的能量, λ_3 为传输的信号的波长, r 为路径衰减因子, h 为天线高度, η 为地面反射系数, d 为节点间的距离. 然后计算接收到的信号的信噪比.

$$\text{SINR} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_A - P_r} \right) \quad (17)$$

其中 P_A 表示接收到的所有能量, 包含噪声. 利用以下公式来计算误码率

$$\text{BER} = Q(\sqrt{2 \times \text{SINR}}) \quad (18)$$

其中,

$$Q(x) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x/\sqrt{2}} e^{-\eta^2} d\eta \quad (19)$$

因此, 我们可以计算出包的错误率 l_{per}

$$l_{\text{per}} = 1 - (1 - \text{BER})^L \quad (20)$$

由于节点速度以及方向所引起的链路拓扑的变化, 很容易当我们要发送一个数据包时链路已经断裂. 使得计算出一跳链路的可靠维持时间是至关重要的. 当发送节点收到邻居节点 i 发来的一个 hello 信标数据包时, 来计算发送节点与节点 i 间的链路维持时间 t_i .

$$R^2 = ((x_i + v \times t_i) - x)^2 + ((y_i + v \times t_i) - y)^2 \quad (21)$$

其中, (x, y) 表示发送节点, (x_i, y_i) 一跳邻居节点, R 为广播半径, v 为相对速度, 由以下公式计算得到.

$$v = v_i - v_s \quad (22)$$

v_i 为邻居节点的速度, v_s 发送数据包节点的速度. 我们知道, 发送一个数据包时端到端的时延为

$$T_{\text{delay}} = \text{delay}_{\text{trans}} + \text{delay}_{\text{prop}} + \text{delay}_{\text{proc}} \quad (23)$$

其中, $\text{delay}_{\text{trans}}$ 为数据包的传输时延, $\text{delay}_{\text{prop}}$ 为数据包的传播延时, $\text{delay}_{\text{proc}}$ 为数据包的处理延时, 而且很容易得到. 当 $t_i \leftarrow T_{\text{delay}}$ 时, 这样的链路是极其脆弱而且不可靠的, 所以链路的维持时间是一个要考虑的重要部分, 我们将链路的维持时间归一化为一个度量:

$$l_{\text{duration}} = t_i / T_{\text{max}} \quad (24)$$

可以得到时间因子. 其中, T_{max} 为最大持续时间. 通过考察以上 3 个指标, 我们就可以确定出一跳链路的质量

$$L_{\text{quality}} = (\omega \times l_{\text{duration}} + (1 - \omega) \times l_{\text{per}}) \quad (25)$$

其中, ω 为权重值, 我们取 0.5.

利用以上的两个指标, 我们利用以下公式计算出一跳链路状态 L_{state}

$$L_{\text{state}} = L_{\text{stability}} \times L_{\text{quality}} \quad (26)$$

将其作为一个下一跳转发节点的衡量指标.

3.2 转发节点选择策略

选择下一跳转发节点时, 我们考虑了一跳节点间链路的质量以及链路的稳定性, 同时加入了有效节点度量去避免以上提到的问题, 能够有效的提高数据包的递交率, 减小数据包传输的延迟时间.

我们定义一个 Rank 作为下一跳转发节点选择的衡量指标, 具有最大 Rank 的节点成为下一跳转发节点, 计算公式如下:

$$\text{Rank} = \begin{cases} \alpha \times \text{dis}(s, i) + \beta \times L_{\text{state}}(s, i) + \gamma \rho_{\text{avail}}(i), & \text{dis}(s, i) > 0 \\ 0, & \text{dis}(s, i) \leq 0 \end{cases} \quad (27)$$

其中, $\text{dis}(s, i)$ 为发送节点与邻居节点的距离, $L_{\text{state}}(s, i)$ 为发送节点与邻居节点的链路状态, $\rho_{\text{avail}}(i)$ 为邻居节

点 i 的有效邻居节点度量,根据以上公式可以求出这 3 个值且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$. 当 $Rank$ 的值大于 0 的时候,我们选出下一跳转发节点,否则,我们认为出现了局部最优,此时携带数据包,直到下一个候选节点的出现.

3.3 自适应路由方法的步骤描述

作为场景的路由, RAR 考虑在路段上分别对路段进行路由决策,以规避路口的独特挑战. 因此,所提出的协议中存在两种转发模式. 在交叉模式下设计了连通概率的新计算方法,而在路段上提供了一种用于中继选择的贪婪机会转发 (Greedy Opportunity Forwarding (GOF)) 算法. 特别是为了处理间歇连接的问题,当发送节点没有可用的邻居时,我们采用进位转发算法.

下文的算法 1 中显示了 RAR 的过程. 在协议中,源节点初始化了数据包传送过程. 对于发送节点,它检查其位置是否为第一步. 当发送节点位于交点上时,会发生交叉模式. 根据发送节点的定位,发送节点选择一个方向进行发送. 然后,转到段模式进行转发. 如果发送节点位于路段上,则使用段模式. 根据所提出的 GOF 算法,在所选择的方向上逐跳地发送分组. 特别地,如果没有可用的邻居,则发送节点将携带分组,直到它接触可用的中继. 该过程重复直到目的地接收包. 两种模式的细节描述如下.

(1) 交叉模式. 如果发射器连接交点,则发生交点模式. 发送节点将计算所有连接路段的权重,并选择最小权重来传输数据包. 我们考虑计算的重量和连通概率. 在文献[23]权重基于以下计算:

$$\omega = \kappa D_{\text{segment, destination}} + (1 - \kappa) C_{\text{real}} \quad (28)$$

其中, $D_{\text{segment, destination}}$ 描述段与目的地之间的距离, C_{real} 是定义段的连通概率, $0 \leq \kappa < 1$ 是权重因子. 然而,考虑到多层结构的影响,我们用 RAR 中的 3-D 欧几里德距离来定义距离.

(2) 分段模式. 段模式始终遵循交叉模式. 在这种模式下,我们提出一个 GOF 算法来选择下一跳. RAR 的动机是增加尽可能多地发送节点的内部邻居的传输机会. 发送节点通过 hello 方案了解所有邻居的位置. 让最远的层内邻居是节点 V_{intra} , 而最远的层间邻居是节点 V_{inter} . 设当前节点和两种邻居之间的距离分别为 X_1 和 Y_1 . 当且仅当我们有 $Y_1 > X_1 + \sigma$ 时,最远的层间邻居 V_{inter} 被选作下一跳,其中

$$\sigma = \begin{cases} (\lambda_1 - \lambda_2) \Delta R / \lambda_1, & \lambda_1 > \lambda_2 \\ 0, & \lambda_1 \leq \lambda_2 \end{cases}$$

算法 1 自适应路由方法 RAR

步骤 1: 输入源和目的节点,源初始化路由进程,并将必要的信息插入到数据包中, $Transmitter_{id} = Source_{id}$, 跳数 $hop = 1$, 其中 $Transmitter_{id}$ 为

发送节点 id , $Source_{id}$ 为源节点的 id .

步骤 2: 如果发送节点通过 1 跳触发目的地,然后将数据包发送到目的地, $Relay_{hop, id} = Destination_{id}$ 和 $Transmitter_{id} = Relay_{hop, id}$. 否则,如果发送节点在交叉路口,那么输入交点模式,根据公式 (28) 计算连接段的权重,选择权重最小的片段,其中 $Relay_{hop, id}$ 为经过 hop 跳后的中继节点 id , $Destination_{id}$ 为目的节点 id .

步骤 3: 进入段模式,如果发送节点有可用的邻居,那么使用算法 2 中的贪婪机会转发 GOF 选择中继跳转,计算递交率.

步骤 4: 如果在分组生存期内,发送方携带数据包,直到它满足可用的相邻 $Relay_{hop}$, 否则,丢弃包,将报文发送给中继跳, $Transmitter_{id} = Relay_{hop, id}$, $++ hop$; 直到 $Transmitter_{id} = Source_{id}$, 输出: $\{Source_{id}\} \cup \{Relay_{i, id}, i = 1, \dots, hop\}$.

算法 2 贪婪机会转发 GOF 方法

步骤 1: 输入发送节点,其最远的层内邻居 (V_{intra}) 和最远的层间邻居 (V_{inter}), 根据引理 2 和引理 3 的公式 (5) 到 (13) 计算参考节点与最近层内节点间距和参考节点与最近层间节点间距.

步骤 2: 如果 $D_{\text{transmitter, } V_{\text{intra}}} > D_{\text{transmitter, } V_{\text{inter}}} + \sigma$, 则 (V_{inter}) 是下一个中继, 否则 (V_{intra}) 是下一个中继, 输出下一个中继, 转到算法 1 中的步骤 3.

4 仿真与结果

我们用 NS-2 进行网络仿真. 利用 VanetMobiSim 生成一个大小为 1500×1000 的网络拓扑, 其中包含 3 条水平道路以及 3 条垂直道路, 以及 3 个十字路口, 每条道路均为双向车道, 而且在每个十字路口分布设置有交通灯, 交通灯的变化时间为 5s. 每个车辆运动节点均为 IDM_LC 节点. 在 NS-2 中设置的网络参数如下: 采用的信号传播模型为 Two-ray ground reflection 模型. 传输范围为 250m. 信标数据包的大小为 8 字节. 同一节点发送信标的时间间隔在 $[0.5B, 1.5B]$ 上服从均匀分布, 其中 B 表示信标的平均时间间隔. 其中, 在计算接收能量时, 见公式 (27). 我们设置参数 r 为 2, η 为 0.5, h 为 1m, P_t 为 23dBm. 在设置最大维持时间时设置 T_{max} 为 20s. 这几个参数和我们所比较的协议 SLBF 是相同的. 其他参数设置如表 1 所示.

表 1 仿真参数 1

参数	值
仿真时间/s	400
拓扑大小/m	1500x1000
通信标准	IEEE 802.11p
传输范围/m	250
CBR 链接对	10
数据包大小/byte	512
数据包生成时间间隔/s	0.5

在模拟高速场景时, 高速公路的长度为 2km, 宽度

为 100 米. 我们设置的车辆节点个数为 20, 一共有 3 对 cbr 数据连接. 其他参数设置如表 2 所示.

表 2 仿真参数 2

参数	值
仿真时间/s	400
拓扑大小/m	1500 × 1000
通信标准	IEEE 802. 11p
传输范围/m	250
CBR 链接对	3
数据包大小/byte	512
高速公路的长度/km	2
高速公路的宽度/m	100
车辆节点个数/个	20

其中, 我们设置车辆的速度为一个从 10km/h 到 120km/h 的变化范围来评估包的递交率以及数据包的平均跳数.

从图 3 中我们可以看出本文提出的 RAR 路由协议包的递交率远高于 SLBF 和 GPSR 路由协议. 而且随着速度的变化, 相比其他的两个算法比较稳定. 这是因为在选取下一跳转发节点时选取的是最可靠的节点, 并加入了包缓存机制, 使得递交率得到了极大的提高. 而对于 SLBF, 由于采用广播方式, 将产生大量重复的数据包而导致递交率比较低. 而对于 GPSR 路由协议, 由于选取的下一跳节点并不是一个可靠的节点, 所以递交率比较低.

从图 4 中我们可以看出当速度小于 40km/h 时, RAR 路由算法的跳数大于另外的两个路由算法, 而随着速度的增加, 跳数增加比较缓慢. 这是因为 RAR 路由算法选取的并不一定是距离目的节点最近的节点, 而其他两种路由算法选取的节点一定是距离目的节点最近的节点, 由于开始速度比较慢时, 拓扑变化并不剧烈, 相比较其他两个算法跳数比较大, 而当速度大于 40 km/h 时, 由于 RAR 路由采用了缓存机制, 跳数相对比较稳定.

我们取速度为一个常量值 30km/h. 拓扑中车辆数目为一个变量从 30 到 100, 同时交通灯的数目为 6 个, 设在不同的交叉路口. 一共有 10 对 cbr 数据连接. 其他设置如表 2 所示. 在同一拓扑环境中, 根据车辆节点数目的变化, 我们分别对 RAR、GPSR 以及 SLBF 进行了仿真实验, 比较了端到端的延迟、节点数目.

图 5 为延迟时间与节点数目的关系. 从图中可以看出, 随着节点数目的增加 RSAR (即本文的 RAR 方法) 的延时时间逐渐接近于 GPSR. 这是由于随着节点数目增加, RSAR 的自适应能力增强, 使得其到达目的节点

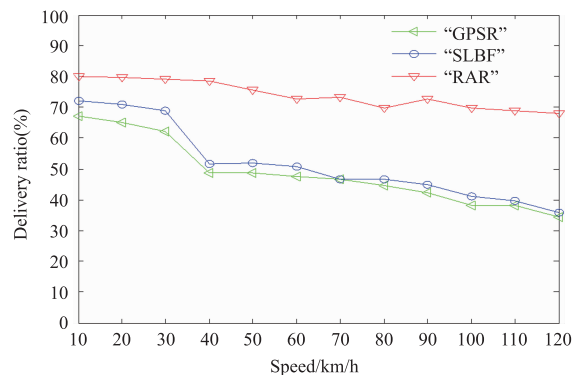


图3 包的递交率与速度的关系

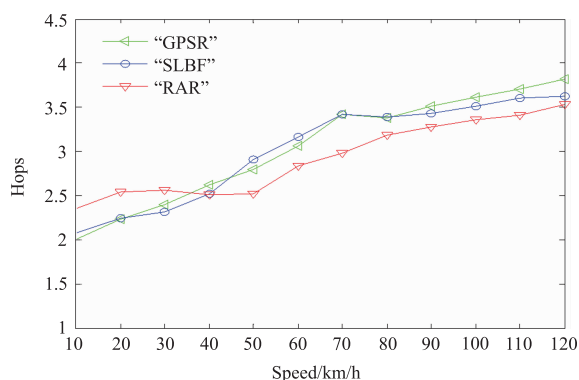


图4 跳数与速度的关系

的路径更加短, 时延更小. 随着节点数目增加时, QLAODV 算法^[24,25]逐渐接近于 RSAR 算法, 但是当节点数比较少时, 其延时时间相比 RSAR 却比较大, 这是由于 QLAODV 要花费大量的时间在路由维护阶段, 当节点较多时, 出现链路断裂的机会变小了. 随着节点数目的增加, SLBF 下降很缓慢, 这是由于其采用定时广播的机制, 广播风暴使得增加了延时时间.

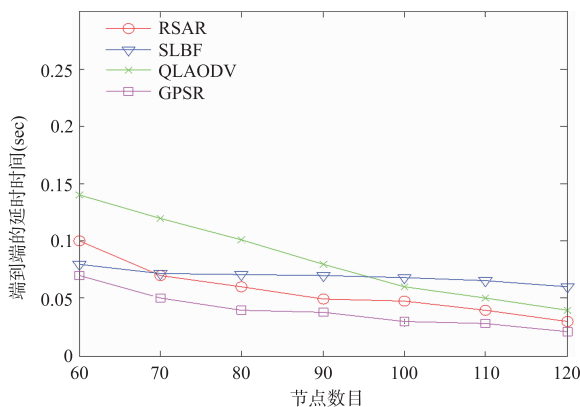


图5 延迟时间与节点数目的关系

5 结束语

本文提出了一种面向高速路车联网场景的自适应

路由方法 RAR. 采用贪婪机会转发(GOF)算法,在选择下一跳转发节点时,同时考虑到目的节点的距离计算、节点间的链路状态情形以及下一跳的有效节点度状况这3个指标来找出最优的转发节点. 根据不同场景自适应选择合适的路由.

参考文献

- [1] Zhang D G, Li G, Zheng K. An energy-balanced routing method based on forward-aware factor for wireless sensor network [J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, 10(1): 766 – 773.
- [2] Liang Y P. A kind of novel method of service-aware computing for uncertain mobile applications [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 57(3 – 4): 344 – 356.
- [3] Chen J Q, Mao G Q. Capacity of cooperative vehicular networks with infrastructure support; multi-user case [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2018, 67(2): 1546 – 1560.
- [4] Zheng K. A novel multicast routing method with minimum transmission for WSN of cloud computing service [J]. *Soft Computing*, 2015, 19(7): 1817 – 1827.
- [5] Song X D, Wang X. Extended AODV routing method based on distributed minimum transmission (DMT) for WSN [J]. *International Journal of Electronics and Communications*, 2015, 69(1): 371 – 381.
- [6] Zhang D G. A novel approach to mapped correlation of ID for RFID anti-collision [J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2014, 7(4): 741 – 748.
- [7] Zhao C P. A new medium access control protocol based on perceived data reliability and spatial correlation in wireless sensor network [J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2012, 38(3): 694 – 702.
- [8] Zhang D G. A new approach and system for attentive mobile learning based on seamless migration [J]. *Applied Intelligence*, 2012, 36(1): 75 – 89.
- [9] Niu H L, Liu S. Novel PEECR-based clustering routing approach [J]. *Soft Computing*, 2017, 21(24): 7313 – 7323.
- [10] Zhu Y N. A new constructing approach for a weighted topology of wireless sensor networks based on local-world theory for the Internet of Things (IOT) [J]. *Computers & Mathematics with Applications*, 2012, 64(5): 1044 – 1055.
- [11] Zheng K. Novel Quick Start (QS) method for optimization of TCP [J]. *Wireless Networks*, 2016, 22(1): 211 – 222.
- [12] Wang X, Song X D. New clustering routing method based on PECE for WSN [J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2015, 2015(162): 1 – 13. DOI:10.1186/s13638-015-0399-x.
- [13] Song X D. New agent-based proactive migration method and system for big data environment (BDE) [J]. *Engineering Computations*, 2015, 32(8): 2443 – 2466.
- [14] Liu S. Dynamic analysis for the average shortest path length of mobile ad hoc networks under random failure scenarios [J]. *IEEE Access*, 2019, 7(1): 21343 – 21358.
- [15] Liu S, Zhang T. Novel unequal clustering routing protocol considering energy balancing based on network partition & distance for mobile education [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2017, 88(15): 1 – 9. DOI:10.1016/j.jnca.2017.03.025.
- [16] 张德干. 基于局域世界的 WSN 拓扑加权演化模型 [J]. *电子学报*, 2012, 40(5): 1000 – 1004.
ZHANG De-gan. Local-world weighted topology evolving model for wireless sensor networks [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2012, 40(5): 1000 – 1004. (in Chinese)
- [17] 张德干. 一种基于前向感知因子的 WSN 能量均衡路由方法 [J]. *电子学报*, 2014, 42(1): 113 – 118.
ZHANG De-gan. A kind of routing protocol based on forward-aware factor for energy balance [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2014, 42(1): 113 – 118. (in Chinese)
- [18] Zhou S, Tang Y M. A low duty cycle efficient MAC protocol based on self-adaption and predictive strategy [J]. *Mobile Networks & Applications*, 2018, 23(4): 828 – 839.
- [19] Niu H L, Liu S. Novel positioning service computing method for WSN [J]. *Wireless Personal Communications*, 2017, 92(4): 1747 – 1769.
- [20] Zhang T, Zhang J. A kind of effective data aggregating method based on compressive sensing for wireless sensor network [J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018, 2018(159): 1 – 15. DOI:10.1186/s13638-018-1176-4.
- [21] Zhang T. Novel optimized link state routing protocol based on quantum genetic strategy for mobile learning [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2018, 2018(122): 37 – 49. DOI:10.1016/j.jnca.2018.07.018.
- [22] Cheng L, Panichpapiboon S. Effects of intervehicle spacing distributions on connectivity of VANET: A case study from measured highway traffic [J]. *IEEE Commun Mag*, 2012, 50(10): 90 – 97.
- [23] Zhu L N. Geographic routing in multilevel scenarios of vehicular Ad Hoc network [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(9): 7740 – 7753.
- [24] Ge H, Zhang T. New multi-hop clustering algorithm for vehicular ad hoc networks [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019, 20(4): 1517 – 1530. DOI:10.1109/TITS.2018.2853165.
- [25] 张德干. 一种基于 Q-Learning 策略的自适应车联网路由新算法 [J]. *电子学报*, 2018, 46(10): 2325 – 2332.
ZHANG De-gan. A kind of new routing algorithm with

adaptivity for mobile IoT based on Q-Learning [J]. Acta Electronica Sinica, 2018, 46(10): 2325 – 2332. (in Chi-

nese)

作者简介



张德干 男,1970 年生.天津理工大学计算机科学与工程学院教授/博士,博导,研究兴趣为物联网、无线传感器网络、移动计算、云计算等.

E-mail: zhangdegan@tsinghua.org.cn



崔玉亚 男,1992 年生.天津理工大学计算机科学与工程学院在读博士生,研究兴趣为网络通信、物联网、无线传感器网络等.

E-mail: 844511468@qq.com



陈 晨 男,1994 年生.天津理工大学计算机科学与工程学院在读硕士生,研究兴趣为物联网、无线传感器网络等.

E-mail: 657935396@qq.com



刘晓欢 女,1988 年生.天津理工大学计算机科学与工程学院在读博士生,研究兴趣为网络通信、物联网、无线传感器网络等.

E-mail: 815215568@qq.com



牛红莉 女,1993 年生.天津理工大学计算机科学与工程学院硕士生,研究兴趣为物联网、无线传感器网络、网络通信等.

E-mail: 2336640200@qq.com