



车联网中基于车辆密度的可变传输范围路由协议

蔡 蓉,章国安,吴月波

(南通大学电子信息学院 南通 226019)

摘 要:为了解决由于道路上车辆密度快速变化,而传输半径却保持不变所带来的不稳定的连通性和较高的误比特率,提出一种车载自组织网络中基于车辆密度的可变传输范围路由(VRR)协议,节点根据道路车辆密度调节信息最大传输距离,降低信息传输时延,确保网络的高连通性。在齐次泊松点过程模型的基础上推导出传输半径随着车辆密度的变化条件,验证其可行性,理论分析获得平均时延的数学计算式,最后仿真比较VRR协议与固定传输范围路由(FRR)协议的性能。仿真结果表明,VRR协议能够应用到实际环境中,且在高连通概率的前提下,使信息从源节点快速地传输到目的节点。

关键词:车载自组织网络;路由协议;平均时延

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015071

Variable Transmission Range Routing Protocol Based on Vehicle Density in VANET

Cai Rong, Zhang Guoan, Wu Yuebo

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

Abstract: In order to solve the problem of unstable connectivity and high bit error rate, which are caused by rapid changes in the density of vehicles on the road, while the transmission radius remained unchanged, a variable transmission range routing protocols based on vehicle density in vehicular Ad-Hoc network was proposed. According to different vehicle density, node could adjust the farthest transmission distance and reduce the transmission latency of the message, which could ensure high connection probability of the network. Based on homogeneous poisson point process model, the change conditions of transmission range with different vehicle density were deduced, and its feasible was proved. Furthermore, mathematical calculate formula of average latency was obtained according to the theoretical analysis. At last, variable transmission range routing protocol based on vehicle density and fixed transmission range routing protocol were compared by simulation. The simulated results show that the proposed protocol can be applied in actual environments, and the message can be transmitted fast from source node to destination node under the condition of high connection probability.

Key words: vehicular Ad-Hoc network, routing protocol, average

收稿日期:2014-12-21;修回日期:2015-03-05

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基金资助项目(No. 2013-319-825-110),江苏省普通高校研究生科研创新计划基金资助项目(No.KYLX_1304)

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),The Graduate Research and Innovation Plan Project of the Universities of Jiangsu Province (No. KYLX_1304)

论文引用格式:蔡蓉,章国安,吴月波. 基于数据挖掘的电力云资源规划调度. 电信科学,2015071

Cai R, Zhang G A, Wu Y B. Variable Transmission Range Routing ProtocolBased on Vehicle Density in VANET. Telecommunications Science, 2015071



1 引言

车辆自组织网络 (vehicular Ad-Hoc network, VANET) 是通过配备无线通信设备的车辆来交换信息的。VANET 包括车辆与车辆之间的通信 (vehicle-to-vehicle communication, V2V) 和车辆与路边网络基础设施之间的通信 (vehicle-to-roadside communication, V2R), 其应用有:

- 与安全相关的应用, 如应急预警系统、辅助驾驶员防撞系统、道路状况预警系统;
- 与娱乐相关的应用, 如上传或下载音乐和电影。

大多数应用需要车辆之间有能够进行信息传播的路径, 但是在一个给定的传输车辆附近并不能保证有足够多的车辆来提供一个完整的路径。因此, 当在 VANET 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^[1]。此外, 由于 VANET 的随机性和移动性, 使平均时延成为一个多跳路由协议之间性能比较的重要指标^[2]。

在 VANET 中已经有很多与路由协议理论分析有关的研究成果。参考文献[3]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; 参考文献[4]提出利用流动性模型分析网络连通性问题; 参考文献[5]提出在车流量服从泊松过程的单向多车道高速公路场景下, 利用节点数的概率分布函数分析连通性; 参考文献[6]的研究扩展到双向高速环境下多跳连通性分析; 参考文献[7]对 VANET 的平均时延进行了理论分析。

由于公路上行使的车辆数目及平均速度是不断变化的, 从而导致在传输半径固定不变的情况下, 转发路径的连通概率也是不断变化的。一方面, 当车辆数目很少时, 源节点在转发范围内可能找不到下一跳节点而导致转发中断; 另一方面, 当车辆数目很大时, 可能导致干扰和误比特率的增加。为了解决这个问题, 就要使传输半径随着车辆节点密度变化而变化, 即当节点密度大时, 应当减小传输半径; 当节点密度小时, 应当增加传输半径。为了在确保连通概率很高的前提下, 不论车辆密度如何变化都能使信息成功转发到目的节点, 并且能够避免干扰, 降低时延, 本文提出一种基于车辆密度的可变传输范围路由 (VRR) 协议。

2 基于车辆密度的可变传输范围路由协议

2.1 假设条件

为了方便理论分析, 假设条件如下。

(1) 选择长为 L 的单车道高速公路作为研究区域, 其平均节点数为 N 。由于研究区域的长度远远大于宽度, 为了研究方便, 本文忽略宽度, 则定义: $N=\lambda L$, λ 为节点密度。

(2) 网络中的节点数是服从密度为 λ 的齐次泊松点过程, 例如长为 L 的研究区域中含有 m 个节点的概率计算如下:

P (在长为 L 的区域中有 m 个节点)

$$= \frac{(\lambda L)^m}{m!} e^{-\lambda L}, \quad (m=0, 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

(3) 数据分组沿着车辆移动的方向转发。

(4) 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, 且不考虑其他通信基础设施。

2.2 VRR 协议传输半径随节点密度变化的条件

为了获得研究区域内网络的连通概率, 首先考虑一个观察窗, 即车速为 V 的车辆在时间 t 内行走的长度。令观察窗内有 n 辆车, 它们随机均匀分布在高速公路的轴线方向上, 且相互独立。另外, 车辆在研究区域内以不同的速度移动, 其中 $\eta=\lambda V$, η 为车流量。

假设随机变量 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, v_i 代表第 i 辆车的速度 ($i=1, 2, \dots, n$)。实验研究显示, 在自由移动的状态下, 不同车辆的速度服从高斯分布, 且彼此相互独立。因此, 假设车辆速度服从平均速度为 μ 、标准差为 σ 的高斯分布, 即

$$\text{其概率密度函数为: } f_i(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}}。$$

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

$$g_i(v) = \frac{f_i(v)}{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} f_i(u) du} \quad (2)$$

其中, $v_{\min}=\mu-Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\sigma$, $v_{\max}=\mu+Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\sigma$, z 是标准正态分布下概率为 $1-\frac{\alpha}{2}$ 的点。根据标准正态分布的知识可知, 当检验水平 $\alpha=0.05$ 时, 假设为真的概率达到 95%。将 $v_{\min}$ 和 $v_{\max}$ 代入式 (2) 可得:

$$g_i(v) = \frac{2f_i(v)}{\text{erf}\left(\frac{v_{\max}-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)\text{erf}\left(\frac{v_{\min}-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)}, \quad v_{\min} \leq v \leq v_{\max} \quad (3)$$

根据上述计算式 $\eta=\lambda V$ 可得: $\lambda_{\text{avg}}=\eta E(V-1)$ 。 λ_{avg} 为平

均车辆密度。因此,速度为 V 的研究区域内的平均车辆密度为:

$$\lambda_{\text{avg}} = \eta E(V^{-1}) = \eta \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} v^{-1} g_v(v) dv \quad (4)$$

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

由于每辆汽车是以随机车速进入高速公路的,所以长为 L 的高速路段中车辆的数目也是随机变量。则在稳定状态下,研究区域内平均车辆数目为:

$$N_{\text{avg}} = \lambda_{\text{avg}} L \quad (5)$$

为了计算网络连通概率,将在研究区域中的车辆在移动方向上按其位置排序,这就意味着第 $j+1$ 辆车与源节点的距离比第 j 辆车远。利用这个假设,网络连通概率为:

$$P_{\text{nc}}(R) = \prod_{j=1}^{N_{\text{avg}}-1} P_j(R) \quad (6)$$

其中, $P_j(R)$ 为第 $j+1$ 辆车与第 j 辆车的连通概率,其计算如下:

$$P_j(R) = P(r_j \leq R | \gamma_j = j+1) \quad (7)$$

其中, r_j 为第 $j+1$ 辆车与第 j 辆车之间的距离。条件 $\gamma_j = j+1$ 表示第 $j+1$ 辆车是第 j 辆车邻居节点中最近的节点,即使第 $j-1$ 辆车离第 j 辆车更近,这就体现了信息朝着节点移动的方向单向传播。

因为车辆之间的距离服从指数分布,则任意两辆车之间距离的概率密度函数为 $f(x) = \lambda_{\text{avg}} e^{-\lambda_{\text{avg}} x} (x \geq 0)$ 。当两车之间的距离小于或等于传输半径时,这两辆车是连通的,于是有第 $j+1$ 辆车与第 j 辆车的连通概率为 $P_j(R) = F(X \leq R) = \int_0^R \lambda_{\text{avg}} e^{-\lambda_{\text{avg}} x} dx = 1 - e^{-\lambda_{\text{avg}} R}$ 。

此外,因为车辆沿着高速公路方向均匀分布,所以 $P_j(R) = P_k(R)$, 这里 $j, k = 1, 2, \dots, N_{\text{avg}}-1$ 且 $j \neq k$ 。因此,网络连通概率为:

$$P_{\text{nc}} = \prod_{j=1}^{N_{\text{avg}}-1} P_j(R) = [1 - e^{-\lambda_{\text{avg}} R}]^{N_{\text{avg}}-1} \quad (8)$$

网络不能连接的概率为:

$$P_{\text{dc}} = e^{-\lambda_{\text{avg}} R} \quad (9)$$

图 1 显示了在长为 10 km 的道路上,不同节点密度的情况下,传输半径与连通概率的关系曲线。从图 1 可知,当连通概率接近 1 时,不同节点密度所需要的传输半径不同;节点密度低时所需要的传输半径大,节点密度高时所需要的传输半径小。VRR 协议传输半径随节点密度的变化

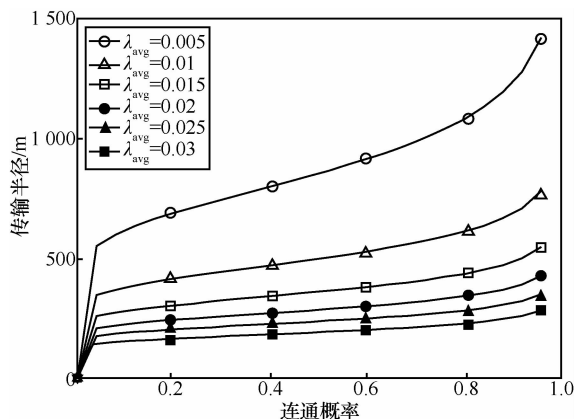


图 1 传输半径与连通概率的关系曲线

条件推导如下。

根据式(8)可得传输半径的计算式为:

$$R = -\frac{1}{\lambda_{\text{avg}}} \ln(1 - P_{\text{nc}}^{\frac{1}{N_{\text{avg}}-1}}) \quad (10)$$

从式(10)很容易看出连通概率 P_{nc} 无限接近 1,而不能等于 1。为了有利于信息从源节点成功到达目的节点,本文选取连通概率 P_{nc} 为 0.99,从而获得传输半径的计算式:

$$R = -\frac{1}{\lambda_{\text{avg}}} \ln(1 - 0.99^{\frac{1}{N_{\text{avg}}-1}}) \quad (11)$$

图 2 则显示了在长为 10 km 的道路上,当连通概率 $P_{\text{nc}} = 0.99$ 时传输半径随节点密度的变化曲线。由图 2 可知,如果基于车辆密度的 VRR 协议的传输半径满足式(11),那么该路由协议就能实现当节点密度大时,传输半径小;当节点密度小时,传输半径大的功能。

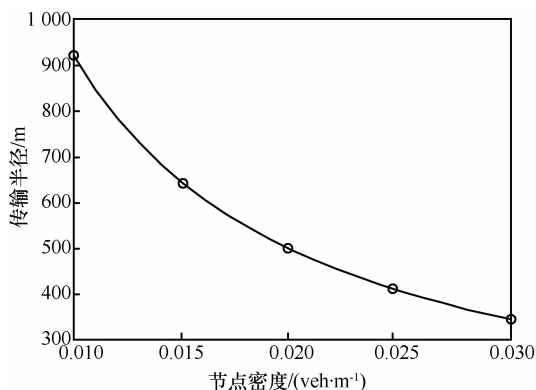


图 2 节点密度与传输半径的关系曲线

2.3 VRR 协议路由过程

在 VRR 协议中,网关作为地理位置服务器,负责保存地区网络拓扑的最新位置信息,这个信息处理过程可以通过基于区域的位置服务管理协议 (region-based location-



service-management protocol, RLSMP)^[8]完成。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时,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、最新更新时间、节点移动速度。当有源节点需要传输数据分组给目的节点时,应用 VRR 协议,其实现步骤如下。

(1)通过网关获得最新的节点密度,根据设定的高通概率计算出最大传输半径 R 以及对应的射频信号发射功率,发射数据分组。

(2)传输范围内的各节点接收数据分组,解析数据,各节点判断是否是目的节点,如果是目的节点,即时回复应答信号,结束本次通信。如果不是目的节点,且未收到目的节点应答信号,则根据节点坐标计算信号发送距离,如果接近 R ,表明节点位于传输范围的边缘,优先作为转发节点发送应答信号;如果节点计算的发送距离分别接近 $3R/4$ 、 $R/2$ 、 $R/4$,则依次延时一定的时间,等待目的节点或边缘节点的应答信号,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,则作为备选的转发节点发送应答信号,参与中继通信。转发节点返回到步骤(1)继续发送数据,直至数据分组最终传输到目的节点。VRR 协议路由

过程如图 3 所示。

该协议的优点是,由于在连通概率接近于 1 的前提下确定传输半径,所以每一个转发节点都能在自己的转发范围内搜索到下一跳节点进行转发,从而增强了传输链路的稳定性。

3 基于车辆密度的可变传输范围路由协议的理论

3.1 VRR 协议可行性

在 VANET 中,一个节点在其传输范围内将信息传送给其邻居节点。因为传输范围有限,所以在 VANET 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。本文提出的基于车辆密度的可变传输范围路由协议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传输范围内都能够找到另一辆车或者其他更多辆车,那么这个路由协议能够支持多跳路由。因此,将分析该路由协议在 VANET 中的可行性。

令 X 代表传输范围内节点数的随机变量,那么传输范围中有 n 个节点的概率为:

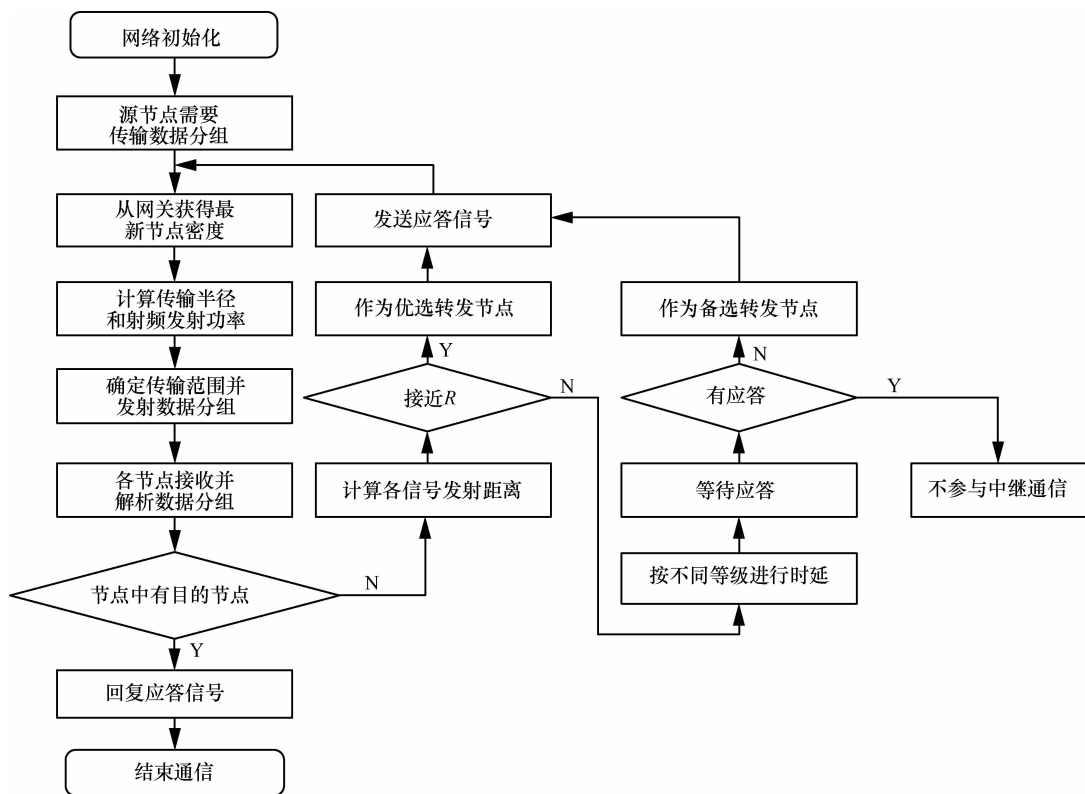


图3 VRR 协议路由过程

$$P(X=n)=\frac{(\lambda_{\text{avg}}R)^n}{n!}\cdot e^{-\lambda_{\text{avg}}R} \quad (12)$$

那么,在传输范围内选择至少 k 个节点的概率为:

$$P(\text{至少 } k \text{ 个节点})=1-\sum_{i=0}^{k-1}\frac{(\lambda_{\text{avg}}R)^i}{i!}\cdot e^{-\lambda_{\text{avg}}R} \quad (13)$$

从式(13)可以很容易得到传输范围内至少一个节点的概率为:

$$P(\text{至少 } 1 \text{ 个节点})=1-e^{-\lambda_{\text{avg}}R} \quad (14)$$

同样地,传输范围内没有节点的概率为:

$$P(X=0)=e^{-\lambda_{\text{avg}}R} \quad (15)$$

图 4 显示了当 λ_{avg} 分别为 0.01、0.02 和 0.03 时,传输范围中至少找到 k 个节点的概率。从图 4 可以看出,不论 λ_{avg} 为何值,源节点在转发范围内找到一辆或者其他更多车辆节点的概率都接近于 1。因此,任何一辆车都至少在一辆其他车的转发范围内,从而能够支持多跳路由协议。此外,还可以发现图 4 中 3 条曲线比较接近,这可以说明 VRR 协议不受节点密度的影响,性能基本保持不变。

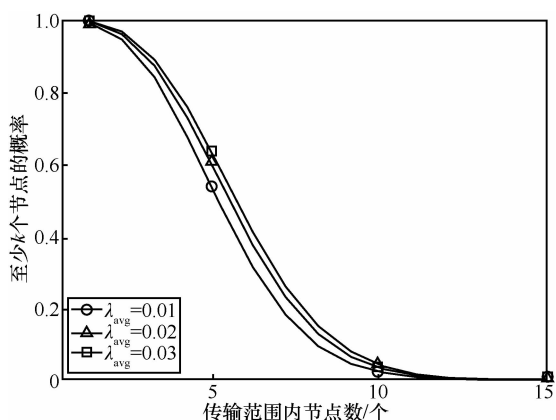


图 4 研究区域至少 k 个节点的概率

3.2 VRR 协议时延性

为了方便研究时延性,现将长为 L 的研究区域按照传输半径 R 分成若干路段,如图 5 所示,阴影区域表示连通的路段,空白区域表示不连通的路段。

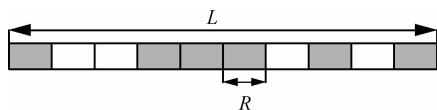


图 5 研究区域路段

时延 D 与道路上移动车辆的个数和相邻移动车辆之间信息传递所需要的时间有关。第 j 辆车与第 $j+1$ 辆车之间传输信息的时间由第 j 辆车所使用的信息传递方法决

定。如果第 j 辆车使用点到点贪婪转发策略,那么传输信息的时延可以表示为 t_p 。另一方面,如果第 j 辆车使用携带转发策略,那么第 j 辆车携带的信息传递速度和该车行驶速度一致,因此,这种时延是由车辆速度和第 j 辆车直到能够将信息转发给第 $j+1$ 辆车所行驶的距离决定的,例如第 j 辆车进入了第 $j+1$ 辆车的传输范围内。为了估计时延,需要考虑这两种情况。令 $\delta=L/R$,分情况讨论如下。

情况一:只允许一辆车沿着道路传递信息,这种情况发生在道路长度 L 小于或等于传输半径 R 时,即 $\delta=L/R\leq 1$ 。这种情况的时延为 t_p 。

情况二:允许超过一辆车沿着道路传递信息,这种情况发生在道路长度 L 大于传输半径 R 时,即 $\delta=L/R\geq 1$,这种情况更可能发生在真实的网络环境下。此时,由式(12)可得,间隔 R 内车辆数目的概率表达式为: $P(X=n)=\frac{(\lambda_{\text{avg}}R)^n}{n!}\cdot e^{-\lambda_{\text{avg}}R}(n=0,1,2,\dots)$ 。为了计算这段道路上的时延,移动节点传输信息的方法都被考虑在内。如果信息是通过点到点传播,那么这种链路和情况一相同,其时延为 t_p 。另外,如果信息是通过车辆携带传播,那么定义一个概率 β ,代表道路上没有任何车辆可以用来传递信息的概率,其计算式为: $\beta=P(X=0)=e^{-\lambda_{\text{avg}}R}$ 。在车辆携带传播的情况下,携带信息的车辆在没有进入另一辆车的传输范围以前是不会传递信息的。

通过以上分析,道路 L 上的平均时延 D 为:

$$D=\begin{cases} t_p, & \delta\leq 1 \\ \delta(1-\beta)t_p+\delta\beta\frac{R}{V_{\text{avg}}}, & \delta>1 \end{cases} \quad (16)$$

其中, V_{avg} 为平均速度。

4 数值计算与仿真结果

利用 MATLAB 仿真软件对基于车辆密度的可变传输范围路由协议与固定传输范围路由(FRR)协议的性能指标进行数值比较分析。

仿真参数如下:

- 选取长为 10 km 的单向高速公路作为研究区域;
- 固定传输范围路由协议的传输半径 R 取 250 m;
- 信息传递每一跳所需要的时间 t_p 取 0.02 s。

图 6 显示了 VRR 协议和 FRR 协议的平均时延与节点密度的关系曲线。由图 6 可知,FRR 协议的平均时延随着节点密度的降低而增加,而 VRR 协议的平均时延基本保持不变。这是因为 FRR 协议在节点密度低的情况下,源节点可能



找不到下一跳节点,于是数据分组通过车辆携带传播,而车辆行使的速度远远低于无线通信的速度,最终导致平均时延增加;另一方面,在节点密度高的情况下,无线通信经常使用不同的信道进行传输,从而使平均时延减少。而 VRR 协议是在确保连通概率始终保持 0.99 的前提下,传输半径随着节点密度的变化而变化的,所以 VRR 协议的时延不会受到节点密度变化的影响。此外,VRR 协议的平均时延比 FRR 协议的平均时延小,可见 VRR 协议的性能比 FRR 协议的性能好。

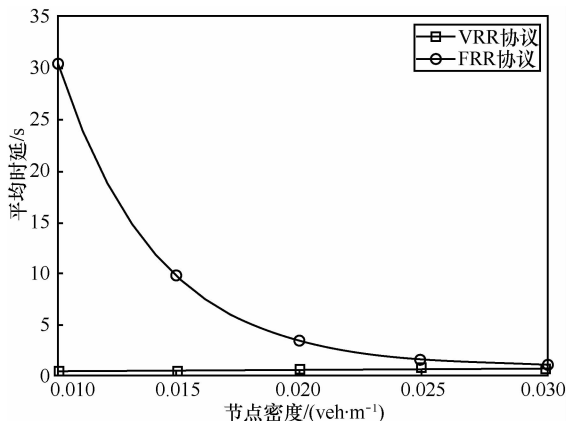


图6 平均时延与节点密度的关系曲线($V_{avg}=100$ km/h)

图7显示当标准方差 σ 为21 km/h,平均速度 μ 不同时,节点密度 λ 与车流量 η 之间的关系曲线。由图7可知,当平均速度保持不变时,平均节点密度随车流量的增加而增加;当标准方差 σ 和车流量 η 保持不变时,节点密度随平均速度 μ 的增加而减少。

图8显示了VRR协议和FRR协议的平均时延与平均车速的关系曲线。由图8可知,FRR协议因为受到节点密度的影响,其平均时延随着平均车速的降低而增加,而VRR协议的平均时延基本保持不变,不受节点密度的影响。此

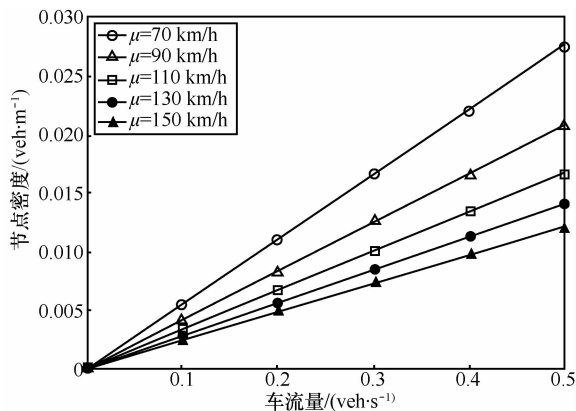


图7 节点密度与车流量之间的关系($\sigma=21$ km/h)

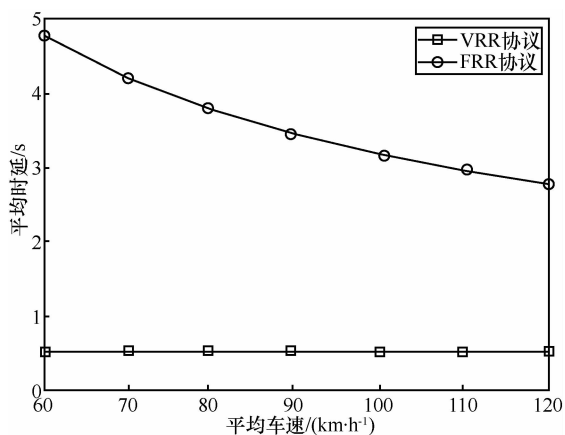


图8 平均时延与平均车速的关系曲线($\lambda_{avg}=0.02$ veh/m)

外,VRR协议的平均时延比FRR协议的平均时延小,可见VRR协议的性能比FRR协议的性能好。

5 结束语

本文提出了一种基于车辆密度的可变传输范围路由协议,在节点服从齐次泊松点过程模型的基础上推导出满足传输范围随着车辆密度的变化条件,验证该协议的可行性,通过理论分析获得平均时延的数学计算式。仿真结果表明,所提出的VRR协议能够应用到实际交通环境中,与FRR协议相比降低了信息传输平均时延,在高连通概率的前提下,使信息从源节点快速地传输到目的节点。

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. Proceedings of 2014 IEEE 15th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), Sydney, NSW, 2014: 1~6
- 2 Raw R S, Das S. Performance analysis of P-GEDIR protocol for vehicular ad hoc network in urban traffic environments. Wireless Personal Communications, 2013, 68(1): 65~78
- 3 Muhammed Ajeer V K, Neelakantan P C, Babu A V. Network connectivity of one-dimensional networks vehicular ad hoc network. Proceedings of IEEE 2011 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), Calicut, India, 2011: 241~245
- 4 Wu J X. Connectivity of mobile linear networks with dynamic node population and delay constraint. IEEE Journal of Selected Areas in Communications (JSAC), 2009, 27(7): 1215~1218
- 5 Khabazian M, Ali M K M. A performance modeling of connectivity in vehicular ad hoc networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4): 2440~2450
- 6 Jin Wenlong, Recker W. An analytical model of multi-hop connectivity of inter-vehicle communication systems. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2010, 9(1): 106~112

(2015071-7 接排在 2015072-5 后)