



路口 2-D VANET 中紧急信息单跳广播的可靠性分析^{*}

张恩展, 邝育军

(电子科技大学移动互联实验室 成都 611731)

摘 要: 紧急交通信息, 如碰撞预警、路口协作等, 在车辆自组织网络 (vehicular Ad Hoc network, VANET) 中及时可靠地广播对安全驾驶至关重要。目前, 现有工作对广播的研究主要解决 VANET 中多跳广播的连接问题。然而, 在高动态的车辆环境下, 通常需要直接的一跳广播来及时、可靠地传播紧急信息。针对路口 2-D VANET 中单跳广播的可靠性, 给出 3 个衡量指标: 数据分组接收率、距标记节点距离为 d 的范围内的数据分组接收率和数据分组投递率; 推导了隐藏终端和并发广播问题下的 3 个指标的表达式; 分析了侦听范围、干扰范围、数据分组大小、退避窗口大小和车辆节点密度对可靠性的影响。

关键词: 车辆自组织网络; 广播; 可靠性; 隐藏终端; 并发广播

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.015

Reliability Analysis of Emergency Message Broadcast at an Intersection in 2-D VANET

Zhang Enzhan, Kuang Yujun

(Mobile Link Laboratory, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Reliability is an important issue for emergency message broadcast services in vehicular Ad Hoc network (VANET). Most investigations of such broadcast in VANET focus on multi-hop connectivity, taking all one-hop links for granted. But potential emergency applications of broadcast in VANET include collision avoidance warning, intersection coordination, etc. Usually direct one-hop broadcast is demanded due to the stringent delay requirements in high mobility scenario. Three reliability metrics, which were the packet reception rate (PRR), PRR with distance d from the sender ($PRR(d)$) and the node packet delivery probability (PDP), were evaluated for one-hop broadcast at an intersection in 2-D VANET analytically. Expressions of these metrics were derived with consideration of the hidden terminal problem and collisions caused by concurrent transmissions. The impact of carrier sensing and interference ranges, the packet size, the back-off window size and the density of nodes on the reliability were investigated and discussed. Finally, some important observations to the broadcast at an intersection in 2-D VANET were provided, such as the PRR, $PRR(d)$ and PDP were getting worse with the traffic density increase.

Key words: vehicular Ad Hoc network, broadcast, reliability, hidden terminal, concurrent transmission

1 引言

当前, 智能交通系统在国内外快速发展, 不但可以提

高交通路网的运行效率, 还可以使驾驶更安全。在智能交通系统中, 车辆自组织网络 (vehicular Ad Hoc network, VANET) 是重要的组成部分。VANET 是由分散的车辆节点

^{*} 国家自然科学基金资助项目 (No.61071099)

组成的网络,节点间自动组网来完成节点间的通信。VANET 未来的主要应用包括数据采集、紧急信息广播、安全预警、交通娱乐信息分享和广告等。大部分的应用都要及时可靠地把信息传播到接收端。因此,广播成了最有效的交通信息传播方法。对于紧急预警信息的传播,在多数情况下,尤其是高动态拓扑变化的车辆环境下,单跳广播常常作为主要的信息传播方式,可以实现快速及时地把紧急信息传播给周围的车辆。截至目前,大量的研究工作主要针对 VANET 中多跳广播的连接问题^[1,2],极少关注单跳广播的可靠性。然而,由于隐藏终端问题、并发广播问题和车辆节点的快速移动问题等存在,使得单跳广播的可靠性面临极大的考验和挑战。

目前,学者们在 VANET 中的广播研究中主要解决洪泛广播的广播风暴问题、中继节点选择问题、多跳连接的连通问题、多跳路由问题等^[3]。参考文献[4]介绍一种基于车辆密度的紧急信息广播(VDEB)方案来解决广播数据流的过载问题。参考文献[5]给出一个基于有效道路的有向广播(ERD)协议用来提高在 VANET 中广播的效率。参考文献[6]介绍一种选择可靠节点广播(SRB)的协议来减小广播风暴的影响。参考文献[7]通过仿真揭示了有向存储—携带—前传广播协议在二维道路模型上的特性,充分体现了该协议的优良性能。综上所述,这些协议的主要目的是改善 VANET 中数据传输方法的性能。自从 IEEE 802.11p 成为 VANET 的主要标准后,使得 VANET 中的媒体接入层有了一个具体的解决方案,于是研究人员对此提供了一些新的广播方案。参考文献[8]分析了 IEEE 802.11p 的广播性能,并通过仿真来验证广播模型。

尽管紧急信息广播服务在 VANET 中是个重要的问题,但对于单跳广播,更深入的理论分析和仿真工作还很少。Ma X M 等在参考文献[9]给出 VANET 中单跳广播的可靠性定义,即在特定广播周期内所有车辆节点接收到广播分组的网络能力,分析了一维 VANET 场景下的单跳广播的可靠性。接着,Ma X M 等在参考文献[10]分析了 MANET 中二维场景下的数据分组接收率(packet reception rate, PRR)。该二维场景是将两条平行的线作为移动场景。对于二维 VANET 场景下分析广播的可靠性仍然是一个开放性的问题^[9-11]。对于路口二维 VANET 场景下的单跳广播的可靠性分析工作还未见报道,为此,在参考文献[9]的基础上,考虑了路口两条交叉道路上的隐藏节点和并发广播节点问题以及车辆密度的变化,分析了侦听范围、数据分组大

小、退避窗口大小等因素对单跳广播的 PRR、距标记节点距离为 d 的范围内的数据分组接收率 (PRR with distance d from the sender, $PRR(d)$) 和数据分组投递率(packet delivery probability, PDP)的影响。

2 广播场景及条件

2.1 广播场景

十字路口二维 VANET 场景如图 1 所示,广播节点位于路口,后续内容中称其为标记节点。

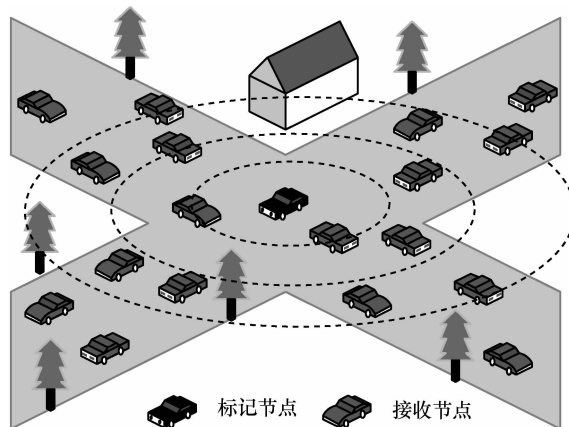


图 1 路口 2-D VANET 广播场景

2.2 给定条件

文中研究给定条件如下。

- 车辆密度为 ρ (辆/m), 节点单跳广播的覆盖半径为 R (通常大于 300 m), 节点的载波侦听范围为 L_{cs} , 节点的干扰范围为 L_{int} , 且满足 $R \leq L_{int} \leq L_{cs} \leq 2R$ 。
- 在图 1 所示的二维环境中, 由于覆盖范围 $R \gg Width_{road}$, 则道路宽度可以忽略, 车辆节点在道路上的分布可以看作分布在两条相互垂直的直线上。2-D 模型如图 2 所示, 可以很好地近似十字路口的情景。
- 标记节点在十字路口处, 如图中 O 处; 则在标记节点覆盖范围内有 $4\rho R$ 个节点。
- 车辆在每一条道路上的分布是一个泊松点过程, 密度为 ρ , 节点的数据分组的到来是服从到达率为 λ 的泊松过程。
- MAC 层的数据分组排队长度不限, 服务过程服从离散马尔科夫过程 M/G/1。
- 节点的移动性在数据分组的单跳传播时间内可以忽略, 例如车辆速度为 120 km/h (城市道路上双向行驶车辆的平均相对速度), 数据分组大小为 200 byte,

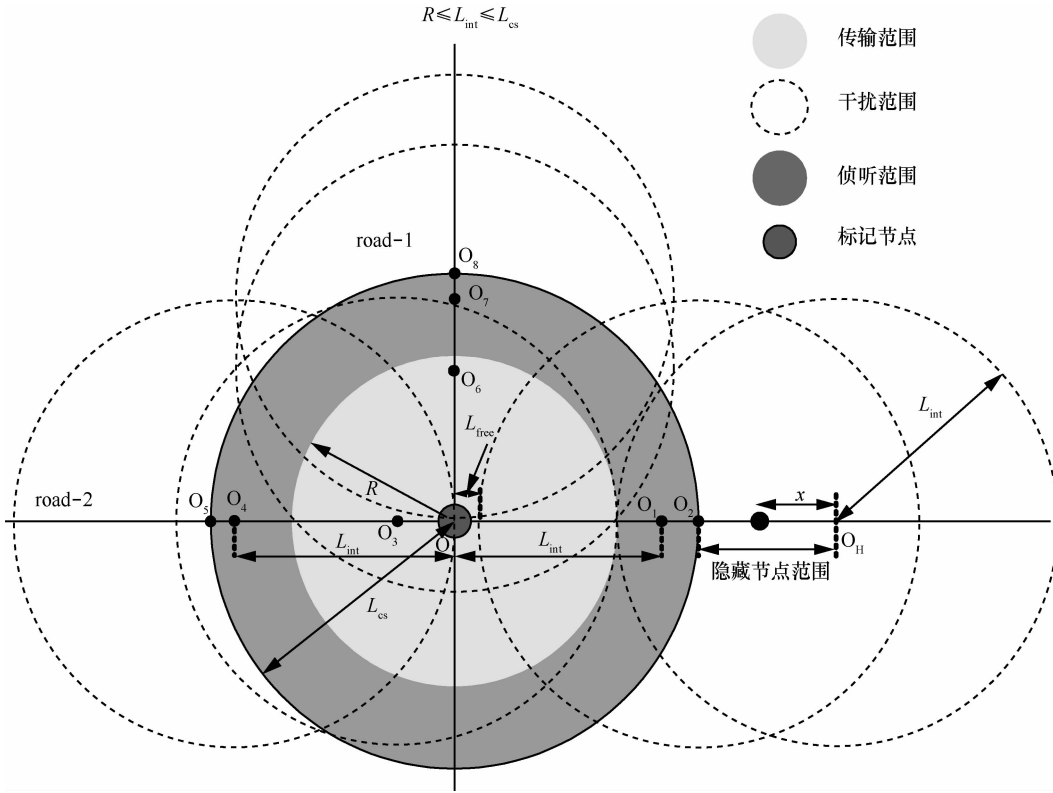


图2 路口 2-D VANET 模型

数据速率为 12 Mbit/s, 在一个数据分组的投递周期内, 则车辆移动位移约为 0.053 m。

- 假设单跳覆盖范围内的车辆节点是时间同步的。

3 可靠性指标

针对路口 2-D VANET 中单跳广播的可靠性, 本节给出 3 个衡量指标, 数据分组接收率 PRR 、距标记节点距离为 d 的范围内的数据分组接收率 $PRR(d)$ 和数据分组投递率 $PDP(d_i)$ 。分别定义如下:

$$PRR = \frac{\text{标记节点覆盖范围内接收到广播分组的节点数}}{\text{标记节点覆盖范围内总节点数}} \quad (1)$$

$$PRR(d) = \frac{\text{距标记节点 } d \text{ 范围内接收到广播分组的节点数}}{\text{距标记节点 } d \text{ 的范围内总节点数}} \quad (2)$$

$$PDP(d_i) = \frac{\text{节点 } i \text{ 成功接收到标记节点的广播组数}}{\text{标记节点广播到节点 } i \text{ 位置的总广播组数}} \quad (3)$$

4 PRR 、 $PRR(d)$ 和 PDP 分析

在 IEEE 802.11 退避机制中, 假设每个车辆节点在一个时隙中广播数据分组的概率为 ε , 于是可得:

$$\varepsilon = \frac{2(1-p_0)}{w_0+1} \quad (4)$$

其中, w_0 是退避窗口大小, p_0 是 MAC 层无数据分组广播的概率, 由数据分组从上层到来的到达率和车辆节点使用的广播信道的服务率 μ 决定。给定数据分组的平均长度为 $E[P]$ 和数据头长度 L_H (包含物理层和 MAC 层的头长度), 信道传播时延为 τ , 数据速率为 R_d , DIFS 为分布式协调功能帧间间隔 (DCF inter frame space), 则退避时间长度 T 为:

$$T = \frac{L_H + E[P]}{R_d} + DIFS + \tau \quad (5)$$

受隐藏终端广播影响的标记节点的一个时间段称为敏感时间, 可由式 (6) 计算:

$$T_{\text{vuln}} = \frac{2(E[P] + L_H)}{R_d} \quad (6)$$

标记节点侦听到信道忙的概率为:

$$p_b = 1 - \sum_{i=0}^{\infty} (1-\varepsilon)^i \frac{(2\rho L_{cs})^i}{i!} e^{-2\rho L_{cs}} = 1 - e^{-2\rho L_{cs}} \quad (7)$$

根据十字路口的几何对称性, 只需分析标记节点右侧覆盖范围内的可靠性指标就可以获得整个覆盖范围内的对应结果。因此, 以下内容针对右侧覆盖范围 $[0, R]$ 的指标进行分析。

4.1 PRR

4.1.1 隐藏终端的影响

根据隐藏终端的干扰范围和标记节点的侦听范围的大小,由图 2 可知,十字路口处两条道路上的隐藏终端仅影响与隐藏终端处与同侧标记节点覆盖范围内节点的接收。令 X 为距标记节点最近的起影响作用的隐藏节点距最外侧 O_H 的距离随机变量,则隐藏终端范围内潜在隐藏终端未发送广播的节点所分布的范围为:

$$L_{\text{int}} = [L_{\text{cs}}, R + L_{\text{int}} - x] \quad (8)$$

那么随机变量 X 的累积分布函数(CDF)为:

$$P(X \leq x) = \sum_{k=0}^{\infty} \left[P(\text{none of } k \text{ nodes in } L_{\text{no}} \text{ transmits for } T_{\text{vuln}}) \right] \\ = \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} (1-\varepsilon)^k \frac{[(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}} - x)]^k}{k!} \times e^{-\rho(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}} - x)} \right\}^{\frac{T_{\text{vuln}}}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} \\ = e^{\frac{-\rho T_{\text{vuln}}(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}} - x)\varepsilon}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} \quad (9)$$

从以上分析,很容易得到在范围 L_{free} 内的节点不受隐藏终端的影响。其中 L_{free} 为:

$$L_{\text{free}} = \{x | x \in [0, L_{\text{cs}} - L_{\text{int}}]\} \quad (10)$$

于是在范围 $[0, R]$ 中,即标记节点右侧覆盖范围内,节点接收标记节点广播失败的期望节点数目为:

$$E[NF_H] = \int_0^{R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}}} \rho x P(x \leq x \leq x + dx) \\ = \int_0^{R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}}} \frac{\rho^2 T_{\text{vuln}} \varepsilon x}{(1-p_b)\sigma + p_b T} e^{\frac{-\rho T_{\text{vuln}}(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}} - x)\varepsilon}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} dx \\ = \rho \left(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}} - \frac{(1-p_b)\sigma + p_b T}{\rho T_{\text{vuln}} \varepsilon} \right) + \\ \frac{(1-p_b)\sigma + p_b T}{T_{\text{vuln}} \varepsilon} e^{\frac{-\rho T_{\text{vuln}}(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}})\varepsilon}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} \quad (11)$$

因此,在标记节点右侧覆盖范围 $[0, R]$ 内,标记节点广播分组的接收率为:

$$PRR_{H\text{-right}} = 1 - \frac{E[NF_H]}{\rho R} \\ = \frac{L_{\text{cs}} - L_{\text{int}}}{R} + \frac{(1-p_b)\sigma + p_b T}{\rho R T_{\text{vuln}} \varepsilon} - \\ \frac{(1-p_b)\sigma + p_b T}{\rho R T_{\text{vuln}} \varepsilon} e^{\frac{-(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}})\rho T_{\text{vuln}} \varepsilon}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} \quad (12)$$

根据对称性,标记节点覆盖范围内左侧、上侧和下侧的数据分组接收率同式(12)。

4.1.2 并发广播的影响

在侦听范围内,当存在节点与标记节点同时广播时,则产生并发广播冲突。即在同一个时隙内如果侦听范围内有节点与标记节点同时广播,则在该广播节点与标记节点的重叠覆盖范围内产生广播冲突,使得接收节点不能成功接收标记节点的广播分组。下面分析右侧并发广播节点对 PRR 的影响,其他 3 侧并发广播的影响仅给出结果。

(1) 右侧并发广播的影响

如图 2 所示,右侧并发节点的分布范围为 $OO_2 = [0, L_{\text{cs}}]$,可以分为 $OO_2 = OO_1 \cup O_1 O_2$ 两部分,其中 $OO_1 = [0, L_{\text{int}}]$, $O_1 O_2 = [L_{\text{int}}, L_{\text{cs}}]$ 。在 OO_1 中有并发广播节点存在时,会导致标记节点覆盖范围内右侧 $[0, R]$ 中的所有节点接收标记节点的广播分组失败。只有在 OO_1 中没有并发广播时,PRR 才不为 0。

$$PRR_{OO_1} = \sum_{i=0}^{\infty} (1-\varepsilon)^i \frac{(\rho L_{\text{int}} - 1)^i}{i!} e^{-(\rho L_{\text{int}} - 1)} \\ = e^{-(\rho L_{\text{int}} - 1)\varepsilon} \quad (13)$$

在 $O_1 O_2$ 中的并发广播节点对 PRR 的影响取决于距离标记节点最近的并发广播节点。令 Y 为该节点距离外边界 O_2 的距离随机变量,则在 $[L_{\text{int}}, L_{\text{cs}} - Y]$ 范围内没有节点并发广播。于是, Y 的 CDF 为:

$$P(Y \leq y) = \sum_{k=0}^{\infty} \left[P(\text{none of } k \text{ nodes in range } [L_{\text{int}}, L_{\text{cs}} - Y] \text{ transmits in a slot}) \right] \\ = \sum_{k=0}^{\infty} (1-\varepsilon)^k \frac{[\rho(L_{\text{cs}} - y - L_{\text{int}})]^k}{k!} e^{-\rho(L_{\text{cs}} - y - L_{\text{int}})} \\ = e^{-\rho(L_{\text{cs}} - y - L_{\text{int}})\varepsilon} \quad (14)$$

标记节点右侧 $[0, R]$ 中接收标记节点广播分组失败的期望节点数目为:

$$E[NF_{c-O_1 O_2}] = \int_0^{L_{\text{cs}} - L_{\text{int}}} \rho(R + L_{\text{int}} + y - L_{\text{cs}}) P(y \leq Y \leq y + dy) \\ = \int_0^{L_{\text{cs}} - L_{\text{int}}} \rho^2 \varepsilon (R + L_{\text{int}} + y - L_{\text{cs}}) e^{-\rho \varepsilon (L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} - y)} dy \\ = \rho R - \frac{1}{\varepsilon} + \left[\frac{1}{\varepsilon} - \rho(R + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}}) \right] e^{-\rho \varepsilon (L_{\text{cs}} - L_{\text{int}})} \quad (15)$$

因此,标记节点右侧 $[0, R]$ 范围内受右侧 $O_1 O_2$ 范围内的并发广播影响下的 PRR 为:

$$PRR_{O_1 O_2} = \frac{\rho R - E[NF_{c-O_1 O_2}]}{\rho R} \quad (16)$$

综合式(13)和式(16)可得,标记节点右侧 $[0, R]$ 中受



右侧范围内并发广播影响的总 PRR 为:

$$PRR_{\text{right}} = PRR_{O_1} \times PRR_{O_1 O_2} \quad (17)$$

(2) 左侧并发广播的影响

$$PRR_{O_3} = \sum_{i=0}^{\infty} (1-\varepsilon)^i \frac{[\rho(L_{\text{int}} - R) - 1]^i}{i!} e^{-[\rho(L_{\text{int}} - R) - 1]} = e^{-[\rho(L_{\text{int}} - R) - 1]\varepsilon} \quad (18)$$

$$PRR_{O_3 O_4} = \frac{\rho R - E[NF_{c-O_3 O_4}]}{\rho R} \quad (19)$$

$$PRR_{O_4 O_5} = 1 \quad (20)$$

$$PRR_{\text{left}} = PRR_{O_3} \times PRR_{O_3 O_4} \times PRR_{O_4 O_5} \quad (21)$$

(3) 上侧并发广播的影响

$$PRR_{O_6} = \sum_{i=0}^{\infty} (1-\varepsilon)^i \frac{[\rho\sqrt{L_{\text{int}}^2 - R^2} - 1]^i}{i!} e^{-(\rho\sqrt{L_{\text{int}}^2 - R^2} - 1)} = e^{-(\rho\sqrt{L_{\text{int}}^2 - R^2} - 1)\varepsilon} \quad (22)$$

$$PRR_{O_6 O_7} = \frac{\rho R - E[NF_{c-O_6 O_7}]}{\rho R} \quad (23)$$

$$PRR_{\text{up}} = PRR_{O_6} \times PRR_{O_6 O_7} \times PRR_{O_7 O_8} \quad (24)$$

(4) 下侧并发广播的影响

$$PRR_{\text{below}} = PRR_{\text{above}} \quad (25)$$

标记节点侦听范围内所有的并发广播对 PRR 的影响为:

$$PRR = PRR_{\text{H}} \times PRR_{\text{right}} \times PRR_{\text{left}} \times PRR_{\text{above}} \times PRR_{\text{below}} \quad (26)$$

4.2 $PRR(d)$

在 VANET 中, 相对于 PRR , 一些应用更关心标记节点的广播对附近节点的成功覆盖率, 比如紧急事故预警、多跳中继节点的选择等。为此, 更进一步地分析了随着距标记节点距离 d ($0 < d < R$) 的变化, PRR 的改变情况。下面分别分析隐藏终端和并发广播对 $PRR(d)$ 的影响。

4.2.1 隐藏终端的影响

标记节点右侧 $[0, d]$ 范围内的 $PRR_{\text{H}}(d)$ 为:

$$PRR_{\text{H}}(d) = \begin{cases} 1, & 0 < d \leq L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} \\ \frac{\rho d - E[NF_{\text{H}}(d)]}{\rho d}, & L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} \leq d \leq R \end{cases} \quad (27)$$

其中, 距标记节点距离为 d 的范围内节点接收标记节点广播失败的期望节点数目 $E[NF_{\text{H}}(d)]$ 为:

$$E[NF_{\text{H}}(d)] = \rho \left(d + L_{\text{int}} - L_{\text{cs}} - \frac{(1-p_b)\sigma + p_b T}{\rho T_{\text{vuln}} \varepsilon} \right) e^{-\frac{\rho T_{\text{vuln}} \varepsilon (R-d)}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} + \frac{(1-p_b)\sigma + p_b T}{T_{\text{vuln}} \varepsilon} e^{-\frac{\rho T_{\text{vuln}} \varepsilon (R+L_{\text{int}}-L_{\text{cs}})}{(1-p_b)\sigma + p_b T}} \quad (28)$$

4.2.2 并发广播的影响

并发广播对 $PRR(d)$ 的影响可以参照第 3.1.2 节的分析, 分析过程中需注意 d 的范围为 $0 < d < R$ 和受影响的区间为 $[0, d]$ 。

4.3 PDP

式(3)给出定义, $PRR(d_i)$ 为第 i 个节点成功接收标记节点的广播分组的概率, 其中, d_i 为节点 i 距标记节点的距离。 $PRR(d_i)$ 同样受到隐藏终端和并发广播的影响。

$$PDP(d_i) = P_{\text{fc}}(d_i) \times P_{\text{th}}(d_i) \quad (29)$$

其中, P_{th} 为未受隐藏终端影响的概率, P_{fc} 为未受并发广播影响的概率, 分别为:

$$P_{\text{fc}}(d_i) = \begin{cases} e^{-2(\rho L_{\text{int}} + \rho\sqrt{L_{\text{int}}^2 - d_i^2} - 1)\varepsilon}, & 0 < d_i \leq L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} \\ e^{-[\rho(L_{\text{cs}} + L_{\text{int}} - d_i) + 2\rho\sqrt{L_{\text{int}}^2 - d_i^2} - 2]\varepsilon}, & L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} < d_i \leq R \end{cases} \quad (30)$$

$$P_{\text{th}}(d_i) = \begin{cases} 1, & 0 < d_i \leq L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} \\ e^{-\frac{\rho T_{\text{vuln}} (L_{\text{int}} + d_i - L_{\text{cs}})\varepsilon}{(1-p_b)\sigma + p_b T}}, & L_{\text{cs}} - L_{\text{int}} < d_i \leq R \end{cases} \quad (31)$$

5 数值结果

表 1 给出分析时采用的参数。

表 1 参数设置

参数	数值
数据速率	12 Mbit/s
分布式协调功能帧间间隔 (DCF inter frame space, DIFS)	64 μ s
短帧帧间间隔 (short inter frame space, SIFS)	32 μ s
时隙宽度	16 μ s
传播时延	1 μ s
节点中计数器回退的窗口大小 CW (backoff window size of the counter)	15 和 31
广播分组长度 $packetsize$	200 byte, 400 byte
MAC 层无数据分组广播的概率 p_o	99%

5.1 PRR

图 3 给出不同通信参数下 PRR 随车辆密度的变化。从图中可以获得如下 3 个结论。

(1) 当传输距离、干扰范围、侦听范围和数据分组大小固定时, $CW=15$ 时的 PRR 比 $CW=31$ 时的 PRR 小, 即表示增大回退窗口, 可以提高 PRR 。例如在车辆密度为 0.1 veh/m 时, $PRR_{\rho=0.1}(CW=15)=89.90\%$, $PRR_{\rho=0.1}(CW=31)=94.81\%$, 相差 4.91%。

(2) 当传输距离、干扰范围、CW 和数据分组大小固定时, $L_{cs}=500$ m 时的 PRR 比 $L_{cs}=250$ m 时的 PRR 大, 即载波侦听范围越大, 隐藏终端减少, 有利于提高接收广播分组的概率。例如在车辆密度为 0.1 veh/m 时, $PRR_{p=0.1}(L_{cs}=300)=94.81\%$ 和 $PRR_{p=0.1}(L_{cs}=250)=86.91\%$, 二者相差 7.90%。

(3) 当传输距离、干扰范围、侦听范围和 CW 大小固定时, $packet\ size=200$ byte 时的 PRR 比 $packet\ size=400$ byte 时的 PRR 大, 即表示数据分组越大, 导致 PRR 的值越小。例如在车辆密度为 0.1 veh/m 时, $PRR_{p=0.1}(packet\ size=200\ byte)=86.91\%$, $PRR_{p=0.1}(packet\ size=400\ byte)=81.62\%$, 相差 5.29%。

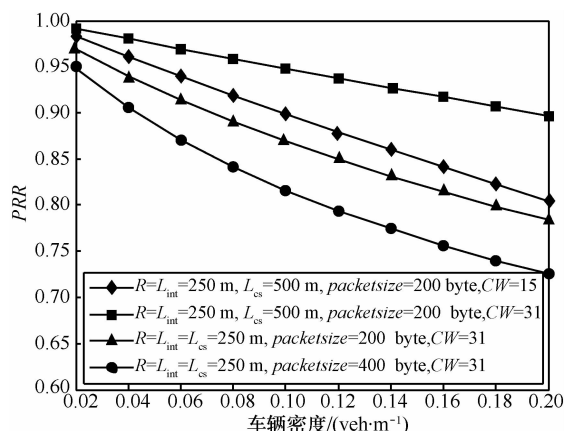


图 3 广播分组和窗口大小不同时 PRR 随车辆密度的变化

5.2 $PRR(d)$

如图 4 所示, PRR 随着距广播节点的距离的增加而逐渐减小, 是因为随着 d 增大, 距广播节点 d 范围内的节点增多, 受并发广播和隐藏终端影响到的节点数目随之增大, 因而数据分组的接收率随着 d 的增大而减小。同时, 在相同的传播和干扰距离以及相同密度下, 增大载波侦听范

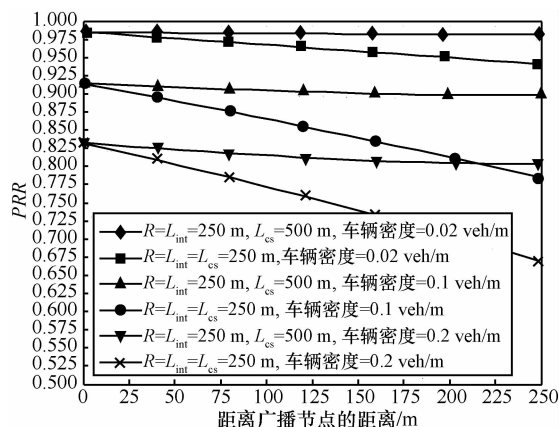


图 4 标记节点不同距离范围内的 $PRR(d)$

围可提高数据分组的接收率。

5.3 PDP

图 5 和图 6 给出 PDP 随车辆密度的变化。其中, 图 5 考察了 $packet\ size=200$ byte, $CW=15$ 时不同的侦听范围下距离标记节点为 100 m 和 200 m 的接收节点成功接收标记节点广播分组的概率。图 6 考察了 $R=L_{int}=L_{cs}=250$ m 时, 不同的广播分组和退避窗口大小, $d=100$ m 处的节点成功接收标记节点广播分组的概率。从图中可以看出, 在相同的条件下, 侦听范围的大小对 PDP 的影响作用比较显著, 尤其是在车辆密度比较大的环境下, 即表示隐藏终端的数量对 PDP 的影响相对较大。

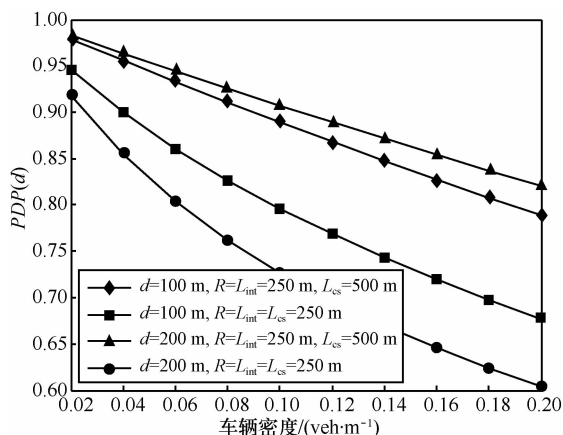


图 5 $packet\ size=200$ byte, $CW=15$ 时 PDP 随车辆密度的变化

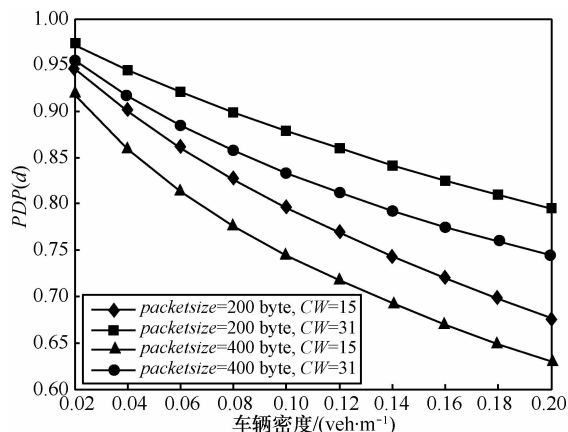


图 6 $R=L_{int}=L_{cs}=250$ m, $d=100$ m 时 PDP 随车辆密度的变化

6 结束语

针对路口 2-D VANET 环境下单跳广播的可靠性, 本文分别考察了隐藏终端和并发广播对 3 个可靠性指标 PRR 、 $PRR(d)$ 和 PDP 的影响, 并进行了理论分析和推导, 给出了节点的侦听范围、广播分组的大小、退避窗口大小、车



辆密度等因素对 PRR、 $PRR(d)$ 和 PDP 的影响结果。同时为单跳广播在不同方面的应用,例如紧急事故信息预警、多跳中继节点选择等,提供了理论参考。

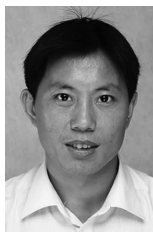
参考文献

- 1 于海宁, 张宏莉. VANETs 路由协议的研究进展. 电子学报, 2011, 39(12): 2868~2879
- 2 常促宇, 向勇, 史美林. 车载自组网的现状与发展. 通信学报, 2007, 11(5): 116~127
- 3 Chen R, Jin W L, Regan A. Broadcasting safety information in vehicular networks: issues and approaches. IEEE Network, 2010, 24(1): 20~25
- 4 Tseng Y T, Jan R H, Chen C, *et al.* A vehicle-density-based forwarding scheme for emergency message broadcasts in VANETs. Proceedings of 2010 IEEE 7th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS), San Francisco, USA, 2010: 703~708
- 5 Lung-Chih T, Gerla M. An efficient road based directional broadcast protocol for urban VANETs. Proceedings of 2010 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Jersey City, NJ, USA, 2010: 9~16
- 6 Vegni A M, Stramacci A, Natalizio E. SRB: a selective reliable broadcast protocol for safety applications in VANETs. Proceedings of 2012 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (iCOST), Avignon, France, 2012: 89~94
- 7 Kuribayashi S, Sakumoto Y, Hasegawa S, *et al.* Performance evaluation of broadcast communication protocol DSCF (directional store-carry-forward) for VANETs with two-dimensional road model. Proceedings of 2009 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks (ISPA), Kaohsiung, Taiwan, China, 2009: 615~619
- 8 Hafeez K A, Zhao L, Liao Z Y, *et al.* Performance analysis of broadcast messages in VANETs safety applications. Proceedings of 2010 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), Miami, FL, USA, 2010: 1~5
- 9 Ma X M, Zhang J S, Wu T. Reliability analysis of one-hop safety-critical broadcast services in VANETs. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(8): 3933~3946
- 10 Ma X M, Refai H H. Analytical model for broadcast packet reception rates in two-dimensional MANETs. Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kyoto, Japan, 2011: 1~5
- 11 Ma X M. Packet reception ratios in two-dimensional broadcast Ad Hoc networks. Proceedings of 2012 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), Maui, HI, 2012: 412~416
- 12 Ma X M, Chen X B. Delay and broadcast reception rates of highway safety applications in vehicular Ad Hoc networks. Proceedings of 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments, Anchorage, AK, USA, 2007: 85~90

[作者简介]



张恩展,男,电子科技大学通信与信息工程学院博士生,主要研究方向为无线与移动通信。



邝育军,男,博士,电子科技大学通信与信息工程学院教授、博士生导师,主要研究方向为宽带无线信息传输技术、移动互联网理论及技术、车联网及分布式智能交通技术。

(收稿日期:2013-10-29)

· 简讯 ·

2014 年 1 月电话用户分省情况

2014 年 1 月份统计数据显示,全国固定电话用户数为 26 580.4 万户,其中城市电话用户数 18 488.3 万户,农村电话用户数为 8 092.1 万户;全国移动电话用户数为 123 527.0 万户。

全国统计的电话用户主要分布在东部、中部和西部地区。东部固定电话用户数为 14 369.5 万户,其中城市电话

用户数为 9 866.9 万户,农村电话用户数为 4 502.6 万户;东部移动电话用户数为 61 724.6 万户。中部固定电话用户数为 6 646.0 万户,其中城市电话用户数为 4 542.6 万户,农村电话用户数为 2 103.4 万户;中部移动电话用户数为 31 730.2 万户。西部固定电话用户数为 5 564.9 万户,其中城市电话用户数为 4 078.8 万户,农村电话用户数为 1 486.1 万户;西部移动电话用户数为 30 070.5 万户。

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)