

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.02.023

VANET 安全应用中安全消息 传输参数的自适应控制^①

龚 恒¹, 林 涛¹, 侯长军², 肖 雪¹

1. 重庆电子工程职业学院, 重庆 401331; 2. 重庆大学 生物工程学院, 重庆 400030

摘要:车联网 VANETs(Vehicular ad hoc network)被认为是下一代汽车系统的重要部分. VANETs 的多数安全应用依赖于周期的基础安全消息 BSM(Basic Safety Message)的可靠传输. 然而, 由于车辆密度、速度的不断变化, 固定传输参数如 BSM 传输范围以及产生率会引起数据包碰撞, 降低控制信道利用率, 为此, 传输参数应自适应 VANETs 安全应用的变化, 而不是固定传输参数. 考虑到车辆安全以及最大化控制信道利用率, 提出了自适应设定传输范围以及数据包产生率 ASRR(Adaptive-Set Range-Rate)算法. 首先, 先测量车头时距作为车辆安全的性能指标, 并依据车头时距产生 BSM 产生率, 然后再利用 BSM 产生率、车辆密度以及网络负载 3 个参数计算传输范围, 使得 BSM 产生率、传输范围随车辆密度自适应地变化. 仿真结果表明, 在变化的车辆密度、车辆速度场景, 提出的 ASRR 算法可以提高安全消息的传输成功率以及控制信道利用率.

关键词:安全消息; 车头时距; 数据包产生率; 传输范围; 车辆安全; 车联网

中图分类号: TPT393

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)02-0133-08

车联网为车与车之间通信提供了平台. 使驾驶者能实时地知晓其他车辆部分信息和路况信息, 并预先采取适当的措施, 减少和避免交通事故^[1-2].

近些年来, 针对 VANETs 提出许多应用标准^[2-3]. 美国联邦通信委员会 FCC(Federal Communications Commission)提倡在 5.9 GHz 频谱上采用 75MHz 带宽实施智能交通系统. 类似于欧洲 CEPT(Conference of Postal and Telecommunications)提出采用 50 MHz 带宽^[4]. 上述这两个标准均将频带划分为控制信道 CCH(Control Channel)、多服务信道 SCH(Multiple Service Channel), 其中 CCH 用于安全应用, 而 SCH 用于非安全应用. 对于单个的无线接收器, 采用基于 IEEE 1609.4^[5]的多信道机制. 在多信道机制中, 将时间划分为用于安全数据的控制信道间隔 CCHI(Control Channel Interval)、用于非安全数据的服务信道间隔 SCHI(Service Channel Interval)^[4].

针对安全消息应用, VANETs 要求在车辆间周期地交互安全消息. 这些周期传播的安全消息被称为 BSM. 在安全消息应用中, BSM 的传输范围为 150~300 m, 产生率约 1~10 Hz^[6]. 传输范围越大, 相应的安全消息传播得越远, 安全性越高, 但是, 若一直采用大的传输范围, 容易对其他车辆造成干扰并导致网络堵塞, 在车辆密集区域, 会引起数据包丢失. 同理, 数据包产生率越高, 车辆接收到来自邻居车辆的数据包就越多, 获取的信息量就大, 行驶更安全. 然而, 大量的数据包在信道中传输也会引起网络堵塞, 导致数

① 收稿日期: 2015-01-16

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2012BAI19B03); 教育部高校博士点基金资助项目(20090191110030); 中央高校基本科研业务费资助项目(CDJXS10231179, CDJSX102300).

作者简介: 龚 恒(1983-), 女, 重庆璧山人, 硕士, 讲师, 主要从事智能图像处理.

据包丢失,尤其在车辆密集区域,网络堵塞更严重,数据包丢失更多.

车头时距 TH(Time Headway)常用于指示车辆安全的指标^[7]. BSM 的数据包产生率应依据车辆间的车头时距进行调整,若低于安全的车头时距,车辆就最大化数据包产生率,并随车头时距的增加呈指数衰减,当选定了数据包产生率后,应依据车辆密度,选择传输范围,从而最大化 CCH 利用率.

为此,应依据道路状况,车辆自适应地选择传输范围以及数据包产生率. 考虑行驶车辆的安全性,提出自适应设定传输范围以及数据包产生率算法, ASRR 包含设定传输范围、控制数据包产生率两个算法, ASRR 算法先依据车头时距计算数据包产生率,然后依据车辆密度,设定传输范围,使得安全消息有效地传递并最大化信道利用率.

1 ASRR 算法

本节详尽地描述提出的 ASRR 算法,该算法的目的在于依据不同交通状况选择传输范围以及控制 BSM 包的产生率.

1.1 数据包产生率的控制

利用车头时距作为控制数据包产生率的指标. 在给定的交通场景,车头时距 T_H 能够反映车辆安全情况^[7-8]. 车头时距是指前向车辆经过某一特定位置的时间 t_1 与后面紧跟车辆经过同一位置的时间 t_2 的间隔,即 $T_H = t_2 - t_1$. 如图 1 所示,车辆 m、n 由西向东行驶,车辆 m 在前,车辆 n 紧随其后. 假定车辆 m 经过了特定的位置(假定图中的房屋所在位置),那么车辆 n 的车头时距就是车辆 n 经过房屋所花的时间. 在计算车头时距时,可通过两车头距离与后续车辆的速度进行计算,如式(1)所示.

$$T_H(n) = \frac{d}{v_n} \quad (1)$$

其中 $T_H(n)$ 表示车辆 n 的车头时距、 d 表示两车头间的距离、 v_n 表示车辆 n 的速度.

车头时距是一个重要的安全参数,实时地获取车头时距有助于驾驶员避免碰撞^[7]. 车头时距反映两车间的空间距离,车头时距值越大,道路越安全^[8]. 在紧急情况下,1.5 ~ 2 s 的车头时距能够避免碰撞^[7-8].

本文假定每个车辆利用全球定位系统 GPS(Global Positioning System) 能获取准确的位置,车辆的位置以及当前行驶速度是 BSM 数据包的一部分.

实际上,每个车辆与两个车头时距相关,如图 2 所示,车辆 n 涉及到 $T_H(n)$ 、 $T_H(k)$,其中 $T_H(n)$ 是车辆 n、k 分别依据式(1)进行计算得到的. 车辆 n 从车辆 k 发送的 BSM 包中提取 $T_H(k)$ 值. $T_H(n)$ 、 $T_H(k)$ 这两个车头时距都影响车辆 n 的安全. 因此,设定车辆 n 的数据包产生率,就考虑到这两个参数. 在提出的数据包产生率的控制

算法中,考虑车辆 n 的安全,将 $T_H(n)$ 、 $T_H(k)$ 的最小值作为车辆 n 最终车头时距 $T_H^f(n)$,如式(2)所示,并根据 $T_H^f(n)$ 计算数据包产生率.

$$T_H^f(n) = \min(T_H(k), T_H(n)) \quad (2)$$

车头时距提供了车辆间安全空间的性能指标,如果车头时距大于安全车头时距(1.5 ~ 2 s),表明道路安全,可降低 BSM 的产生率. 当车头时距小于安全时距 1.5 s,就以最大的产生率产生数据包. 当在(1.5 ~ 10)区域内,数据包产生率随车头时距呈指数衰减. 当大于 10 s,就以最低的数据包产生率产生数据包,为此,BSM 包产生率可依据式(3)进行计算.

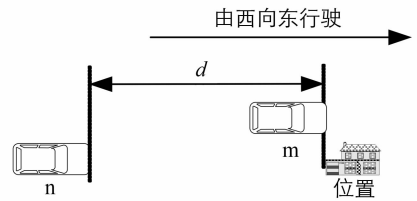


图 1 计算车头时距的示意图

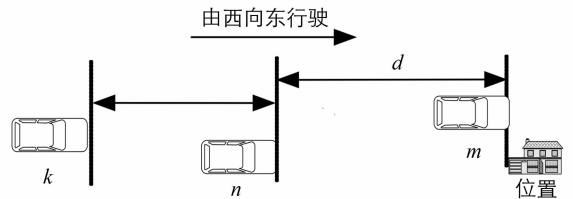


图 2 计算车头时距的示意图

$$R = \begin{cases} 10, & T_H < 1.5 \\ e^{-0.2708T_H+2.7092}, & 1.5 \leq T_H \leq 10 \\ 1, & T_H > 10 \end{cases} \quad (3)$$

图 3 描述了车头时距对数据包产生率的影响曲线. 车头时距与产生率成正比, 最小车头时距 $T_{H \min}$ 对应最大的 BSM 产生率 R_{\max} . 如图 3 所示, 从最小车头时距 $T_{H \min}$ 至最大车头时距 $T_{H \max}$ 期间, BSM 包产生率呈指数下降. 当车头时距不在 $(T_{H \min}, T_{H \max})$ 区间内, 固定 BSM 包产生率. 指数曲线能依据车头时距的变化而变动, 提高道路安全, 随着车头时距的增加, BSM 包产生率随之下降.

综上所述, 提出的数据包产生率的控制算法如图 4 所示. 车辆 n 先依据式(1) 计算车头时距, 并获取车辆 k 的车头时距值, 再依据式(2) 获取最终的车头时距值, 最后依据式(3) 计算数据包产生率.

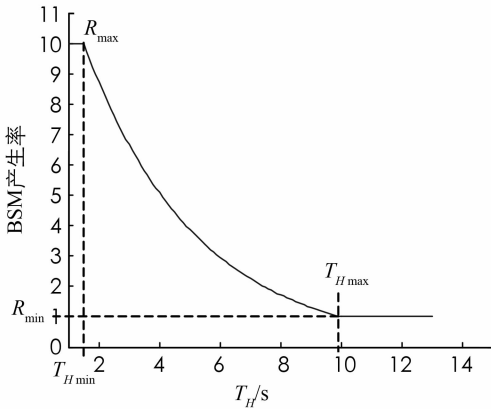


图 3 不同车头时距的 BSM 产生率

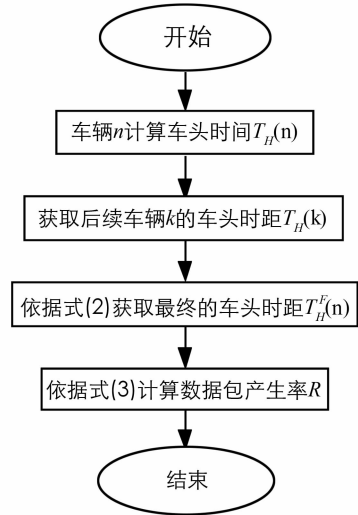


图 4 数据包产生率的控制算法

1.2 传输范围的选择

每个车辆依据网络负载估计自己的传输范围, 并且估计的传输范围应与邻居节点所选用的传输范围保持一致. 网络负载 N_L 定义为在车辆的载波侦听范围内的平均信道负担^[9]. 在 CCHI 内, 网络负载与数据包尺寸 P_s 、数据包产生率 R 、车辆密度 V_D 、载波侦听范围 C_{SR} 以及每秒的 CCHI 总体时间 T_{CCHI} 相关, 如式(4) 所示.

$$N_L = \frac{P_s * R * V_D * 2C_{SR}}{T_{CCHI}} \quad (4)$$

BSM 数据包尺寸为 344bytes, 其中信息实体占 80 bytes、安全开销占 200 bytes 以及 MAC 开销占 64 bytes. 一个车辆的载波侦听范围是传输范围 T_R 的 x 倍, 其中 x 的取值取决于载波侦听的门限值. 在下节的仿真分析中, 设定 $x = 1.46$. $T_{CCHI} = 460$ ms. 网络负载 N_L 大小等于用于传输安全消息的数据率 6 Mbps. 为此, 式(4) 可转换成式(5):

$$T_R = \frac{343.5}{R * V_D} \quad (5)$$

如式(5) 所示, 要计算传输范围 T_R , 还需要估计车辆密度 V_D , 接下来, 分析车辆密度的估计.

每个车辆依据接收到的 BSM 数据包, 估计车辆密度. 为了精确地估计车辆密度, 每个车辆将自己估计的车辆密度值载入自己的 BSM 包中. 考虑到多路径衰落, 其会导致在传输范围 T_R 内数据包的丢失, 这会 影响车辆密度的估计, 为此, 仅计算 100 m 范围内所收到 BSM 包的数量估计车辆密度, 即车辆估计的车辆密度 \hat{V}_D 等于 100 m 内收到 BSM 包的数量.

传输范围随车辆密度的变化情况如图 5 所示. 从图 5 可知, 当车头时距 $T_H = 1$ s 时, 传输范围几乎不

随车辆密度变化,而车头时距 $T_H = 5$ s 时,传输范围随车辆密度增加呈下降趋势,然而车头时距 $T_H = 15$ s 时,传输范围随车辆密度增加下降迅速,平均产生保持在 4.5 s.

实际上,在特定区域内所有车辆估计的车辆密度应相同,但是,每个车辆估计的车辆密度可能不一致.为此,取车辆 n 估计车辆密度 $\hat{V}_D(n)$ 与车辆 n 的邻居车辆密度 $\hat{V}_D(i)$ 的平均值作为车辆 n 最终车辆密度值 V_D ,其中 i 为车辆 n 的邻居,如式(6)所示.

$$V_D = (\hat{V}_D(n) + \hat{V}_D(1) + \hat{V}_D(2) + \dots) / (1 + M) \quad (6)$$

其中 M 表示车辆 n 有 M 个邻居车辆. $\hat{V}_D(1)$ 表示邻居车辆 1 估计的车辆密度.

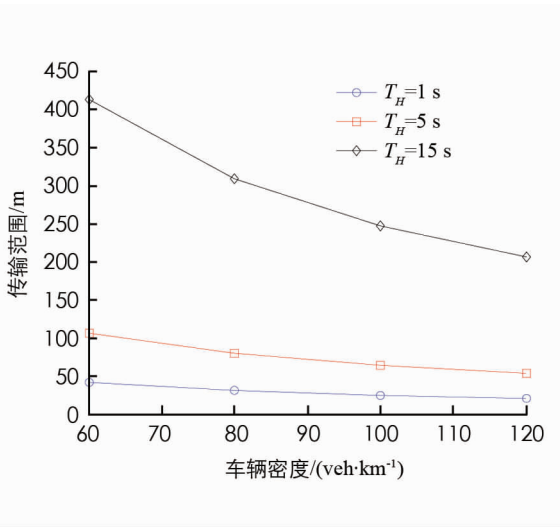


图 5 传输范围随车辆密度的变化情况

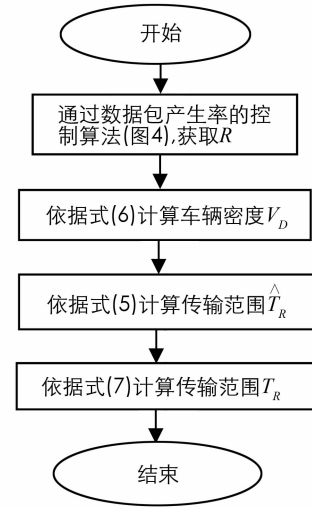


图 6 传输范围选择算法

将车辆密度 V_D 以及数据包产生率 R 代入式(5)便可估算自己的传输范围 T_R . 由于每个车辆的数据包产生率 R 不同,每个车辆估计的车辆密度也不同,然而,传输范围 T_R 大的车辆可能会对传输范围 T_R 小的车辆造成安全消息传输的干扰,因此,为了克服车辆传输范围不一致的问题,应当致使邻居车辆的传输范围保持一致.为此,该区域的传输范围应等于自己估计的车辆范围与邻居车辆估计的传输范围平均值,从而使得某局部内所有车辆的传输范围一致,如式(7)所示.

$$T_R = (\hat{T}_R(n) + \hat{T}_R(1) + \hat{T}_R(2) + \dots) / (1 + M) \quad (7)$$

其中, $\hat{T}_R(n)$ 表示车辆 n 依据式(5)估算的传输范围, $\hat{T}_R(1)$ 表示邻居车辆 1 估计的传输范围. 设定传输范围的算法如 6 图所示. 车辆通过数据包产生率的控制算法以及传输范围选择算法,分别计算数据包产生率 R 和传输范围 T_R ,并以 R, T_R 参数发送数据包.

2 性能分析

2.1 仿真参数及模型

本节分析所提出 ASRR 算法的性能,采用基于 OPNET Modeler 16.0 的仿真模型,软件操作界面如图 7 所示. 以长为 5 km、双向 6 车道的高速公路为仿真场景,仿真过程中采用的车辆交通模型如下:在低车辆密度(60 vehicles/km)时车辆间距服从指数分布,在高车辆密度(120~180 vehicles/km)时车辆间距服从正态分布,仿真中实施的车辆平均速度为低、中、高三档,分别为 40, 70, 100 km/h. 车辆的速度服从以平均速度的 10% 的方差的正态分布. 此外,采用 Nakagami 衰落模型,并且指数 $m=3$,每次仿真时间为 300 s. 具体的参数如表 1 所示.



创建新的背景拓扑图

选定网络的范围

图 7 OPNET Modeler 16.0 软件操作界面

表 1 仿真参数表

参数名称	数值
道路长度/km	5
车道数	6(每个方向 3 条车道)
车辆密度/(veh · km ⁻¹)	60,120,180
车辆速度/km/h	40,70,100
BSM 数据包尺寸/byte	344
数据率/Mbps	6
频率/GHz	5.9
MAC/PHY	IEEE 802.11 p
传播模型	Nakagami 衰落(m=3)
载波侦听门限值/dBm	-94
背景噪声/dBm	-99

为了更好地评估算法的性能,采用数据包传输成功率、数据包产生率、信道繁忙率指标.其中信道繁忙率被定义为信道忙的时间占被侦测时间的比率,当接收的功率大于载波侦听门限值,就认为是信道忙.

在提出的算法中,BSM 包最低的产生率 $R_{\min}=1$ packet/s、最大的产生率 $R_{\max}=10$ packet/s.为了避免碰撞,车头时距下限 $T_{H\min}=1.5$ s、上限 $T_{H\max}=10$ s.

2.2 仿真数值分析

1) BSM 包产生率

图 8 描述 BSM 包产生率随不同车速以及车辆密度的变化曲线.从图 8 可知,BSM 包产生率随车辆平均速度的增加而上升,这主要是因为车辆平均速度的增加引起车头时距的减少,从而提升了 BSM 包产生率.类似地,车辆密度的增加,缩短了车辆间的平均间距,使得车头时距缩小,从而也提升了 BSM 包产生率.此外,依据交通流量理论,车辆速度随车辆密度的增加而减少,因此,在高车辆密度时,如 180 vehicles/km,车辆应以低速行驶.为此,平均速度 100 km/h 比平均速度为 70 km/h 提升的 BSM 包产生率不显著.

2) 数据包传输成功率

在本次实验中,将本文提出的 ASRR 算法与基于固定传输技术 FRT(Fixed rate transmission)算法进行比较.FRT 算法基于标准的 IEEE 802.11 p 协议,采用 10 packets/s 固定的 BSM 包产生率和 300 m 固定的传输范围,仿真结果如图 9 所示.

从图 9 可知,在低车辆密度(60 vehicles/km)时,提出的 ASRR 算法的数据包传输成功率略高于 FRT 算法.然而,当高车辆密度(120 vehicles/km)时,ASRR 数据包传输成功率高于 FRT 方案 1%至 9%,其中当车辆平均速度为 40 km/h,数据包传输成功率提升至 9%,而车辆平均速度为 100 km/h 时仅 1%,这主要因为车辆平均速度的增加,导致 BSM 包产生率的提高,从而引起数据包传输成功率的下降.但是,即便是高速时,ASRR 的 BSM 包产生率仍优于 FRT 算法,有利于安全消息的传输.

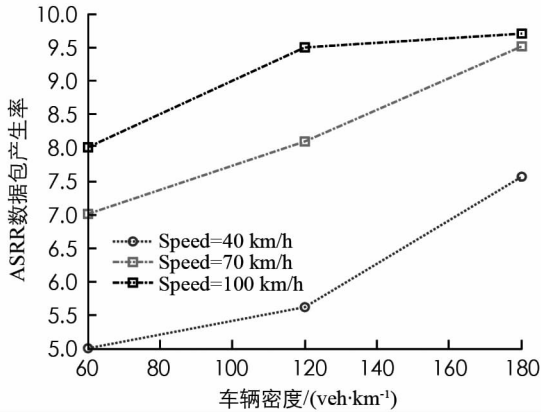


图 8 ASRR 数据包产生率
随车辆密度的变化曲线

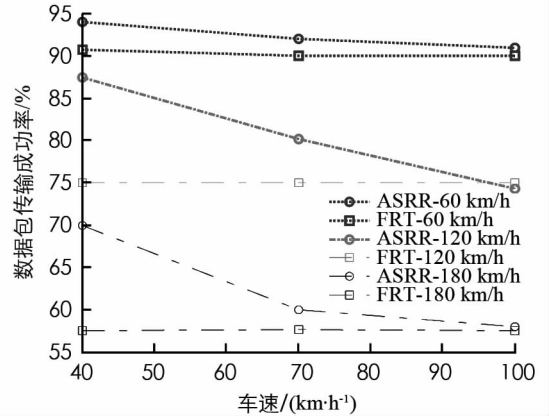


图 9 ASRR、FRT 的数据包
传输成功率性能比较

接下来,进一步分析 FRT 算法固定的传输范围(300 m)、固定的 BSM 包产生率(10 packets/s)与 ASRR 在不同收-发间距对系统的影响,仿真结果如图 10—图 12 所示,其对应的车辆密度、速度分别为 60 vehicles/km,100 km/h; 120 vehicles/km,70 km/h; 180 vehicles/km,40 km/h.

从仿真数据可知,提出的算法的性能优于固定的传输范围以及数据包产生率方案,其原因在于提出的算法为了维持安全要求,通过车头时距最大化信道利用率.提出的算法针对 3 个场景(60 vehicles/km, 100 km/h; 120 vehicles/km,70 km/h; 180 vehicles/km,40 km/h)所计算平均数据包产生率、平均传输范围如表 2 所示.

表 2 ASRR 在不同场景下选择的数据包产生率以及传输范围

车辆密度 /(vehicles · km ⁻¹)	车辆速度 /(km · h ⁻¹)	平均数据包产生率 /(packets · s ⁻¹)	平均传输范围 /m
60	100	8.02	594.2
120	70	8.35	287.5
180	40	7.46	207.2

由表 2 可知,提出的算法依据不同的车辆密度、车辆速度自适应于高速数据包产生率和传输范围.当车辆密度为 60 vehicles/km,提出的算法依据网络负载自适应于选择更高的传输范围为 594.2 m,提高了数据包的接收率.如图 10 所示.当车辆密度为 120 vehicles/km 时,提出的 ASRR 算法选择的传输范围为 287.5 m,接近于 FRT 算法采用的 300 m,但是,提出的算法的性能仍优于固定方案,如图 11 所示.当车辆密度为 180 vehicles/km 时,提出的 ASRR 算法降低了传输范围,在这种场景下数据包传输成功率如图 12 所示.从图 12 可知,当两车辆距离较小时,提出的算法的数据包传输成功率明显优于固定方案,这说明固定方案在两车辆距离低时丢失了大量数据包.

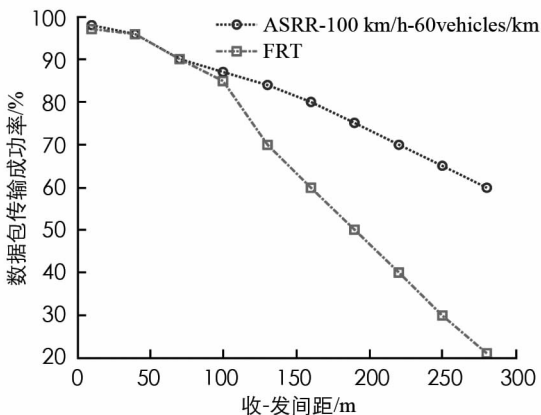


图 10 数据包传输成功率
随收-发间距的变化曲线

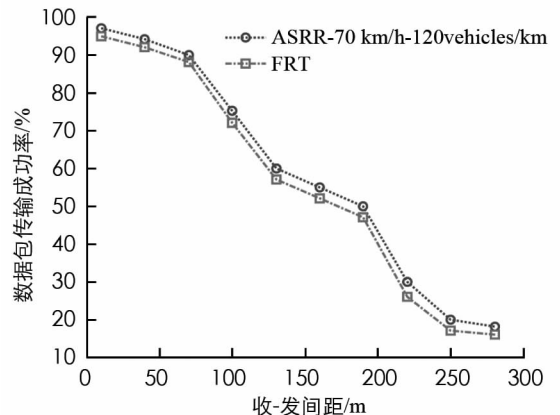


图 11 数据包传输成功率
随收-发间距的变化曲线

3) Channel busy percentage

图 13 显示了提出的 ASRR 算法、FRT 算法的信道繁忙率随车辆密度的变化情况。从图 13 可知, FRT 算法的信道繁忙率随着车辆密度的增加而增。当车辆密度为 60 vehicles/km 时, FRT 算法的信道繁忙率低于 ASRR, 但是随着车辆密度的增加, ASRR 算法表现出明显的优势。

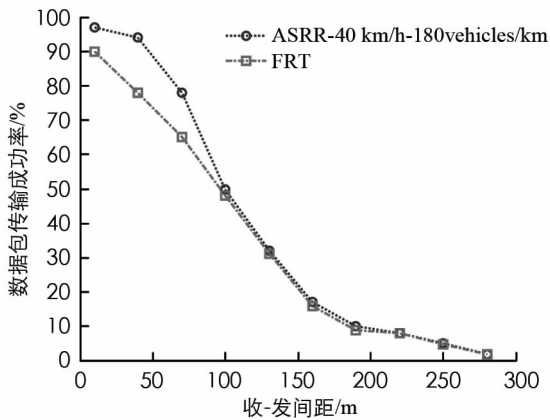


图 12 数据包传输成功率
随收-发间距的变化曲线

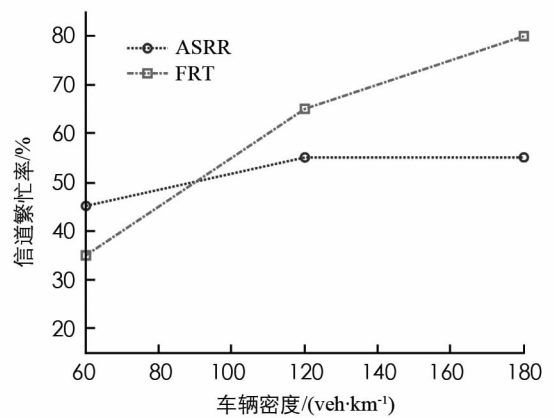


图 13 信道繁忙率随车辆密度的变化情况

3 总 结

在 VANETs 的安全应用中, 车辆需周期地交互 BSM, 为此, 提出自适应设定 BSM 传输范围以及数据包产生率算法. 考虑到车辆安全, ASRR 算法优化 BSM 产生率以及传输范围, 从而最大化控制信道利用率. ASRR 先利用车头时距作为行驶车辆安全的性能指标, 通过车头时距计算数据包产生率, 并设定了车头时距与数据包产生率的函数关系. 然后, 利用数据包产生率计算传输范围, 并考虑到邻居区域传输范围的一致性. 仿真结果表明, 与 FRT(固定传输范围、数据包产生率)相比, 提出的 ASRR 算法在数据包传输成功率、信道繁忙率方面得到明显的提升。

参考文献:

- [1] DAR K, BAKHOUYA M, GABER J, et al. Wireless Communication Technologies for ITS Applications. *Communications Magazine* [J]. IEEE, 2010, 48(5): 156–162.
- [2] KENNEY J. Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2011, 99(7): 1162–1182.
- [3] 陈立家, 高 伟. 一种 VANET 信道丢包率模型 [J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(25): 116–120.
- [4] CAMPOLO C, MOLINARO A. Multichannel Communications in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey. *Communications Magazine* [J]. IEEE, 2013, 51(5): 158–169.
- [5] TSENG Y C, NI S Y, CHEN Y S, et al. The Broadcast Storm Problem in a Mobile ad hoc Network [J]. *Wirel Netw*, 2002(2): 153–167.
- [6] CHITRAXI RAJ, URVIK UPADHAYAYA, TWINKLE MAKWANA, et al. Simulation of VANET using ns-3 and SUMO [J]. *Int J Adv Res Comput Sci Softw Eng*, 2014, 4(2): 563–569.
- [7] VOGEL K. A Comparison of Headway and Time to Collision as Safety Indicators [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2003, 35(3): 427–433.
- [8] TAIEB-MAIMON M, SHINAR D. Minimum and Comfortable Driving Headways: Reality versus Perception [J]. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2001, 43(1): 159–172.
- [9] TORRENT-MORENO M, MITTAG J, SANTI P, et al. Vehicle-to-Vehicle Communication: Fair Transmit Power Control for Safety-Critical Information. *Vehicular Technology* [J]. *IEEE Transactions on*, 2009, 58(7): 3684–3703.

On Adaptive Algorithm of Set Transmission Parameters for Safety Message in VANET Safety Applications

GONG Heng¹, LIN Tao¹, HOU Chang-jun², XIAO Xue¹

1. Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing, 401331, China;

2. Bioengineering Department, Chongqing University, Chongqing 400030, China

Abstract: Vehicular Ad hoc networks (VANETs) are considered as an important component of next generation automotive systems. Various safety applications are supported by reliable delivery of the periodic basic safety messages (BSM) in vehicular communication. Due to variable vehicle density on the road, the fixed transmission parameters such as transmission range and packet generation rate of safe messages result in a large number of collisions and an inefficient use of the control channel application. The safety applications demand the adaptation of the above transmission parameters without compromising vehicle safety. A combined transmission range and packet generation rate control algorithm have been presented to take into account vehicles safety and maximizes the control channel utilization. At first, every vehicle calculates packet generation rate to provide vehicle safety measurement by means of the measured time headway metric. In the second step, transmission range is adapted based on vehicle density estimation, target network load and the packet generation rate of each vehicle. The performance analysis shows that proposed algorithm improves the safety message performance in terms of packet reception rate and control channel utilization for a range of vehicle densities and vehicle speeds.

Key words: basic safety messages; time headway; packet generation rate; transmission range; vehicle safety; vehicular ad hoc network

责任编辑 汤振金