基于警告距离感知的安全行驶模型

徐会彬[1,2]

(1.湖州师范学院 信息工程学院,浙江 湖州 313000;2.浙江省现代农业资源智慧管理与应用研究重点实验室,浙江 湖州 313000)

摘　要:针对车载网(V2X)的异构特性,提出基于蜂窝和802.11p协议的V2X通信的安全行驶模型(Cellular and 802.11p-based V2X safe navigation model,CSNM).CSNM模型先分析异构V2X中各类场景的特性,再推导在各类场景下的警告距离.车辆通过接收包含警告距离的消息,提升行驶安全.仿真结果表明,同时采用V2V和V2N模式的通信能够提升交互安全消息的可靠性,降低传输消息的时延,减少估计警告距离的误差.

关键词:车联网;安全行驶;802.11p协议;蜂窝;警告距离

中图分类号:TP393　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1009-1734(2022)08-0000-07

车载娱乐、安全增强和娱乐信息共享是联网汽车的显著特点[1-2],而给车辆用户提供安全行驶服务是车载网络的最主要应用.由于通信存在盲区,车辆位于非视距范围时容易发生事故,因此部署新的安全行驶策略迫在眉睫.安全行驶策略具有主动安全的特点,当任意车辆或目标在碰撞区域时,安全行驶策略能及时发送警告消息,提醒驾驶人员安全行驶,进而降低事故发生的概率[3-4].

V2X是推动智能交通系统的有效通信范式[5-6],包含车间通信(Vehicle to Vehicle,V2V)、车与路边设施通信(Vehicle to Infrastructure,V2I)、车与网络通信(Vehicle to Network,V2N)和车与行人(Vehicle to Person,V2P)通信,如图1所示.V2V通信的目的是提供点到点(Peer-to-Peer,P2P),以及车载设备(On-board Units,OBUs)间的基于短距离通信的多跳通信服务;V2I通信的目的是提供车辆与路边设施间的P2P服务;V2N通信的目的是提供车辆与外网设施的短或长距离通信服务[7],其中外网设施包括蜂窝基站、WiFi接入点和边缘计算服务器.

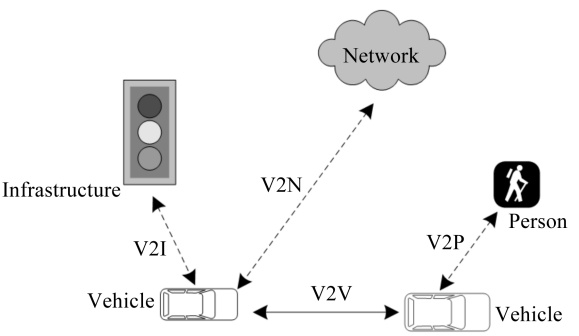


图1　V2X通信模式

Fig.1　Communication model of V2X

现存的联网汽车可采用多种无线接入技术(Radio Access Technologies,RAT),如WiFi、IEEE 802.11p、4G LTE[8]、5G及蜂窝-V2X等.为使道路预警消息的传输量最大化,规定道路上的车辆采用相同的RAT是不太现实的,而采用不同的RAT,则可形成一个异构车载网络.

收稿日期:2021-12-22

基金项目:2021年度浙江省软科学研究计划项目(2021C35129).

通信作者:徐会彬,博士,讲师,研究方向:移动自组网络、无线传感网络.E-mail:02623@zjhu.edu.cn

尽管异构车载网络为不同通信实体间的信息交互提出了挑战，但利用RAT技术也可降低消息传输时延，提升警告消息的覆盖范围.本文针对异构车载网络，提出基于蜂窝和802.11p协议的V2X通信的安全行驶模型(Cellular and 802.11p-based V2X safe navigation model，CSNM)，并利用该模型先分析不同类型的场景及不同场景下的通信特性，再推导不同场景下车辆间的警告距离，同时通过仿真分析该模型传输预警消息的时延和估计警告距离的准确性.

1 CSNM模型

1.1 异构的V2X结构

为保证车辆安全行驶，分布式的V2X结构主要由3层构成：车辆、基站和边缘转发服务器，如图2所示.下面考虑多类的异构场景，假定在异构场景中有3辆车(A、B、C)，其中车辆A是本文研究的主体，车辆B和C是车辆A的邻近车辆.

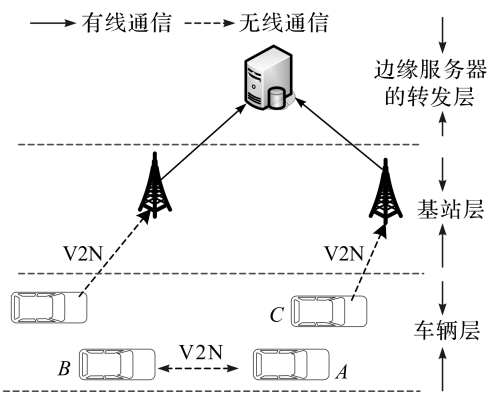


图2 面向安全行驶的分布式V2X安全结构

Fig. 2 Distributed V2X architecture for safe navigation

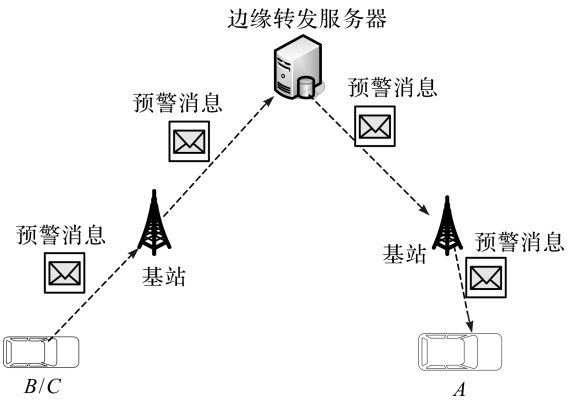


图3 场景一

Fig. 3 Scenario one

(1) 场景一(Scenario one，S-one)：车辆A、B、C均采用4G LTE或5G通信技术，且只能实施V2N通信模式，如图3所示.车辆B与车辆C的通信模式相同，因此它们向车辆A传递预警消息的方式也相同.如车辆B向车辆A传递预警消息的过程为：首先，车辆B向基站发送预警消息Mes_aware，其包含时戳、车辆行驶速度及位置坐标；然后，基站将Mes_aware转发至边缘转发服务器；最后，基站将Mes_aware消息转发传递至车辆A.

(2) 场景二(Scenario two，S-two)：车辆A、B、C均采用802.11p协议的通信技术[9]，因此它们能够以V2V模式直接传输预警消息Mes_aware，如图4所示.

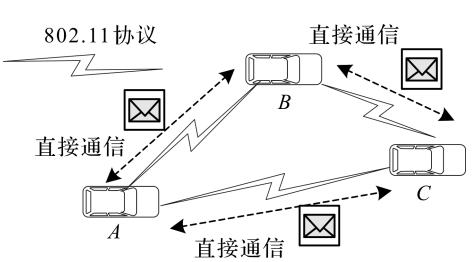


图4 场景二

Fig. 4 Scenario two

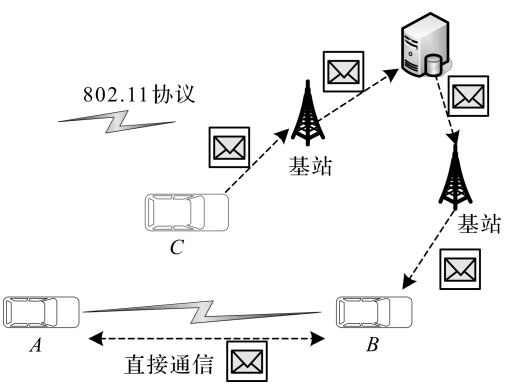


图5 场景三

Fig. 5 Scenario three

(3) 场景三(Scenario three,S－three)：车辆 A 采用 802.11p 协议的通信技术；车辆 B 采用 802.11p 协议和 4G LTE 两种通信技术；车辆 C 只采用 4G LTE 通信技术.因此，车辆 A 与车辆 B 能直接通信，即它们能以 V2V 模式通信.如果在车辆 C 和车辆 A 附近存在配备 802.11p 协议和 4G LTE 两种通信技术的车辆，则车辆 B 满足此条件.在这种条件下，车辆 C 会通过以下方式向车辆 A 传输预警消息：首先，车辆 C 向基站传输预警消息，再由基站向边缘转发服务器转发预警消息；然后，车辆 B 通过基站向边缘转发服务器下载来自车辆 C 的预警消息，再将预警消息传输至车辆 A，如图 5 所示.

(4) 场景四(Scenario four,S－four)：车辆 A 配备 4G LTE 通信技术，车辆 B 和车辆 C 只配备 802.11p 协议.在这种情况下，车辆 A 无法从车辆 B 和车辆 C 接收预警消息，即存在通信盲区.但由于车辆是移动的，一般存在盲区的持续时间不会很长.

1.2 警告距离的估算

1.2.1 反应距离与刹车距离

为准确地估算警告距离，先计算反应距离(Reaction Distance,RD).将车辆 ϑ_i 的行驶速度表示为 ν_i，其制动的反应距离 d_i^{RD} 为：

$$d_i^{\mathrm{RD}}=\nu_i\times T_{\mathrm{RT}}, \tag{1}$$

其中，T_{RT} 为反应时间(Reaction Time,RT)，取 $T_{\mathrm{RT}}=1.26\ \mathrm{s}$[10].

依据车辆的动能能够估算理论的制动距离，因此依据式(2)计算车辆 ϑ_i 的动能 E_i^m 为：

$$E_i^m=\frac{m_i(\nu_i)^2}{2}, \tag{2}$$

其中，m_i 为车辆 ϑ_i 的重量.再结合式(3)，可推导出刹车距离(Breaking Distance,BD)：

$$E_i^m=\frac{m_i(\nu_i)^2}{2}=fm_igd_i^{\mathrm{BD}}\Rightarrow d_i^{\mathrm{BD}}=\frac{(\nu_i)^2}{2fg}, \tag{3}$$

其中，f 为摩擦系数，g 为重力加速度，d_i^{BD} 为车辆 ϑ_i 的刹车距离.

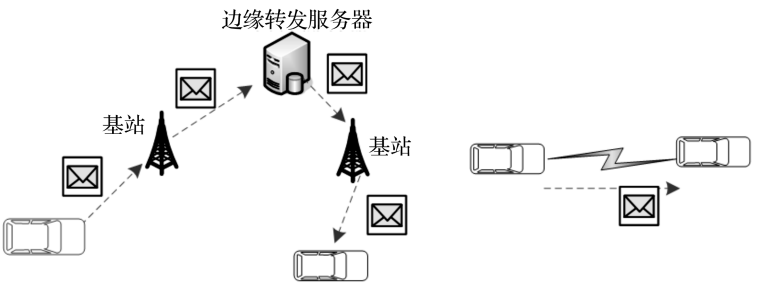
1.2.2 距离误差

令 L_{LTE} 表示双程时延，即预警消息传输至基站，再传输至边缘转发服务器，然后处于 V2N 模式的车辆通过基站接收此预警消息所产生的时延，如图 6(a)所示.令 $L_{802.11}$ 表示单程时延，即车辆向另一车辆直接传输预警消息的时间，如图 6(b)所示.首先利用多个车辆的双程时延及单程时延，建立以下回归等式：

$$L_{\mathrm{LTE}}=\alpha_1N_{\mathrm{LTE}}+c_1, \tag{4}$$

$$L_{802.11}=\alpha_2N_{802.11}+c_2, \tag{5}$$

其中，N_{LTE}、$N_{802.11}$ 分别为采用 4G LTE、802.11 协议的车辆数，c_1、c_2 为实数.



(a) 双程时延　　(b) 单程时延

图 6 双程时延和单程时延

Fig. 6 Round－trip latency and one－way latency

然后针对蜂窝通信和短距离的 802.11 通信两类环境，推算距离误差：

$$d_i^{\mathrm{ED\text{-}LTE}}=\nu_i(T_s+L_{\mathrm{LTE}}), \tag{6}$$

$$d_i^{\mathrm{ED\text{-}802.11}}=\nu_i(T_s+L_{802.11}), \tag{7}$$

其中，T_s 为抽样时长.

最后利用式(1)、式(3)、式(6)和式(7),计算警告距离(Warning Distance,WD):

$$d_i^{\mathrm{WD}}=\begin{cases} d_i^{\mathrm{RD}}+d_i^{\mathrm{BD}}+d_i^{\mathrm{ED\text{-}LTE}}, \text{ if } \vartheta_i \text{ in V2N}, \\ d_i^{\mathrm{RD}}+d_i^{\mathrm{BD}}+d_i^{\mathrm{ED\text{-}802.11}}, \text{ if } \vartheta_i \text{ in V2V}. \end{cases} \tag{8}$$

1.2.3 警告消息的传输

当车辆 ϑ_i 依据式(8)计算出警告距离后,再计算在同向车辆中离自己最近车辆的距离.如果此距离小于警告距离,则会形成警告消息,进而实现安全行驶.

2 性能分析

2.1 仿真环境

利用 OpenStreetMap 构建用于仿真的区域地图[11],N 辆车随机地分布于地图中.将地图中所有交叉口的信号灯关掉,利用 Veins 软件[12]实现 V2V 通信和 V2N 通信模式,界面采用 SUMO 软件.具体的仿真参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数

Tab. 1 Simulationparameters

参数	值
交叉口数/个	138
路径数/个	215
车辆数	100～2 000
车辆速度/(km/h)	0～80
车间最小距离/m	2.5
500 辆车的仿真时间/s	255
1 000 辆车的仿真时间/s	516
2 000 辆车的仿真时间/s	1 127

采用 V2N 通信模式的车辆采用 LTE 通信技术,LTE 通信技术的仿真参数如表 2 所示.采用 V2V 通信模式的车辆采用 802.11 通信技术,802.11p 通信技术的参数如表 3 所示.

表 2 LTE 技术参数

Tab. 2 LTE Parameters

参数	值
基站的发射功率/dBm	45
车辆的发射功率/dBm	23
路径损耗指数 α	1
上行链路和下行链	25
路的资源块	
基站数/个	5
载波频率/GHz	2.1

表 3 802.11p 技术的参数

Tab. 3 802.11p Parameters

参数	值
载波频率/GHz	5.890
路径损耗指数	2
PHY 数据率/Mbps	18
PHY 层灵敏度/dBm	−89
PHY 层终端噪声/dBm	−110
调制方案	16QAM
信道间隔/MHz	10

2.2 性能分析

2.2.1 时延性能

场景一的时延性能如图 7 所示，车辆的最高车速为 80 km/h. 依据 Veins 软件特点，车辆在[0，80] km/h 区间随机选择车速行驶. 假定预警消息为 32 字节，仿真实验独立进行 50 次，取平均值作为最终的仿真数据.

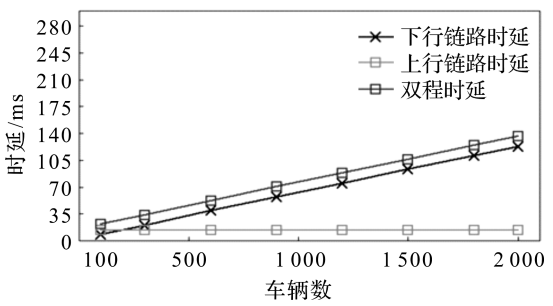


图 7 场景一的双程时延

Fig. 7 Round - trip latency in Scenario one

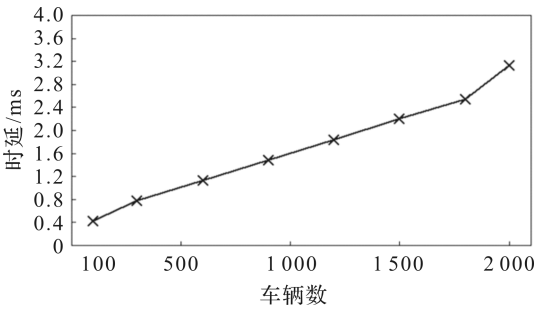


图 8 场景二的单程时延

Fig. 8 One - way latency in Scenario two

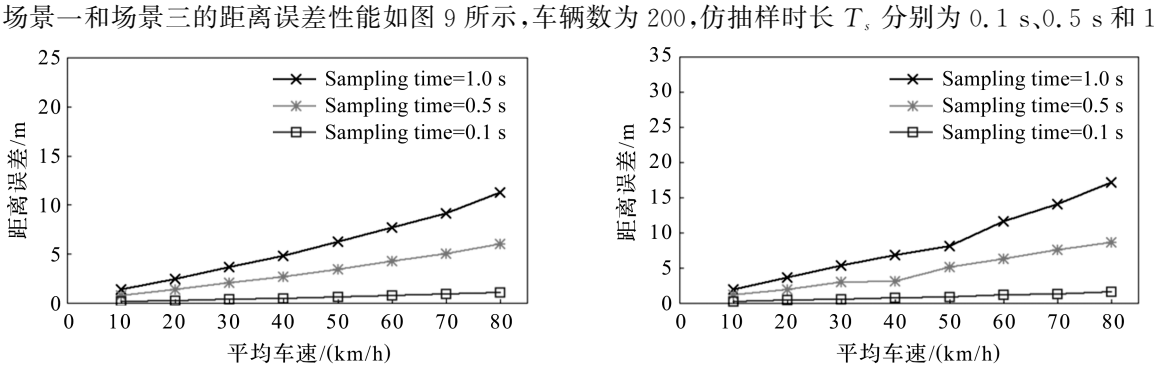
上行链路时延是指车辆通过基站向边缘转发服务器传输预警消息的时间；下行链路时延是指车辆通过基站从边缘转发服务器下载预警消息的时间. 如图 7 所示，上行链路时延不随车辆数变化而变化. 当车辆数从 100 升至 2 000 时，上行链路时延一直保持不变，为 13.3 ms. 其原因是：每辆车只需要向基站传输 32 字节的预警消息. 下行链路时延随车辆数的增加呈线性增长. 当车辆数为 100 时，下行链路时延为 7.9 ms；当车辆数为 2 000 时，下行链路时延上升至 122.9 ms. 其原因是：每辆车需要从边缘转发服务器下载其他车辆预警消息，车辆数越多，边缘转发服务器负荷越重，从而导致时延增加.

上行链路时延和下行链路时延之和为双程时延. 从图 7 可知，双程时延随车辆数的增加而上升. 利用收集的不同车辆时延数据构建回归方程式(4)，进而计算式(4)的两个参数，得：$\alpha_1=0.060\ 5$，$c_1=15.848\ 79$，$L_{\mathrm{LTE}}=0.060\ 5N_{\mathrm{LTE}}+15.848\ 79$.

图 8 为场景二的单程时延随车辆数的变化曲线. 从图 8 可知，单程时延随车辆数的增加而上升. 利用收集的不同车辆单程时延数据构建回归方程式(5)[13]，进而计算式(5)的两个参数，得：$\alpha_2=0.0013\ 1$，$c_1=0.307\ 89$，$L_{802.11}=0.001\ 31N_{802.11}+0.307\ 89$.

2.2.2 距离误差

场景一和场景三的距离误差性能如图 9 所示，车辆数为 200，仿抽样时长 T_s 分别为 0.1 s、0.5 s 和 1 s.



(a) 场景一　　(b) 场景三

图 9 场景一和场景三的距离误差随平均车速的变化情况

Fig. 9 Error in distance with speed

从图 9 可知，随着抽样时长和平均车速的增加，距离误差也增加. 在场景一中，当平均速度为 80 km/h、抽样时长为 1 s 时，距离误差达 11.25 m. 对比图 9(a)与图 9(b)发现，场景三的距离误差大于场景一. 在场景三中，当速度为 80 km/h、抽样时长为 1s 时，距离误差达 17.11 m. 在同样条件下，场景一中

的距离误差约 11 m.

2.2.3 性能对比

为更好地分析 CSNM 模型的性能,本文采用文献[4]提出的自适应安全内容信息算法(Adaptive Safety Context Information,ASCI)作为对比算法. ASCI 算法只采用 4G LTE 通信技术,并没有考虑网络的异构性,且车辆间无法直接通信. 而 CSNM 算法同时考虑 802.11p 和 4G LTE 通信技术,允许车辆间以多种模式通信. 通过对比分析 ASCI 算法和 CSNM 算法的性能,可体现允许车辆间采用不同通信模式的优势,这也是本文的研究背景.

图 10 为 ASCI 算法和 CSNM 算法的单程时延和距离误差性能,其中车辆数为 200. 从图 10(a)可知,相比 ASCI 算法,CSNM 算法有效降低了单程时延. 当车辆数为 200 时,ASCI 算法的单程时延达 22.12 ms,而 CSNM 算法将单程时延降低到了 1.479 ms.

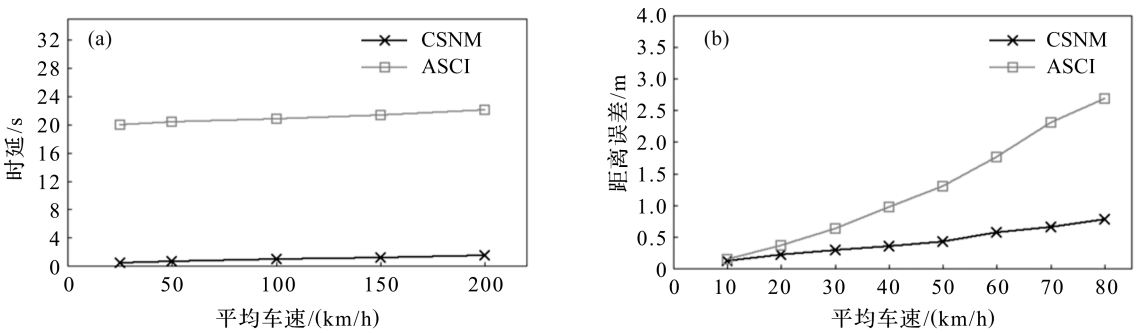


图 10 ASCI 算法和 CSHM 算法的单程时延和距离误差

Fig. 10 One-way latency and error in distance

图 10(b)为 ASCI 算法和 CSNM 算法的距离误差随平均车速的变化情况,其中抽样时长为 0.1 s. 从图 10 可知,相比 ASCI 算法,CSNM 算法减少了距离误差,且控制了距离误差随平均车速增加而上升的速度. 当平均车速为 80 km/h 时,ASCI 算法的距离误差比 CSNM 算法增加了 2 m.

3 结 论

为提升车辆行驶安全,本文提出了基于蜂窝和 802.11p 协议的 V2X 通信的安全行驶模型 CSNM. CSNM 模型可通过分析 V2X 的异构特性及各类通信场景的特性,推导各场景下的警告距离. 车辆间通过交互警告距离提升了行驶安全.

参考文献:

[1] 李玉峰,陆肖元,曹晨红,等. 智能网联汽车网络安全浅析[J]. 电信科学,2020,36(4):36-45.

[2] 吴冬升. 5G 车联网业务演进之路的探索与展望[J]. 通信世界,2020,833(5):17-20.

[3] 梁军,张婉婉,何美玲,等. 车联网环境下道路交通事故链阻断效率评价方法研究[J]. 中国公路学报,2018,31(4):211-221.

[4] NGUYEN Q H,MOROLD M,DAVID K,et al. Adaptive safety context information for vulnerable road users with MEC support[C]// 2019 15th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS). 2019:28-35.

[5] 申滨,周晓勇,徐浪,等. 基于 SideLink 的 LTE-V2X 联合切换方案设计[J]. 电子与信息学报,2020,42(2):230-237.

[6] 常振廷,谢振东,董志国. 城市车联网(C-V2X)建设运营模式研究[J]. 电信科学,2020,36(4):69-73.

[7] CHEN W,李源,刘玮等. 车联网产业进展及关键技术分析[J]. 中兴通讯技术,2020,150(1):9-15.

[8] 陈山枝,胡金玲,时岩,等. LTE-V2X 车联网技术,标准与应用[J]. 电信科学,2018,34(4):1-11.

[9] 李国钦,孙友伟,柴永平. 车联网中基于 K 均值聚类的拥塞控制方法[J]. 计算机工程与设计,2020,41(2):42-46.

[10] SAM D, CYRIL - RAJ V, ESTHER EVANGELIN T. A vehicle control system using a time synchronized Hybrid VANET to reduce road accidents caused by human error[J]. Vehicular Communications, 2016, 3(5): 17 - 28.
[11] 丁思磊，陈云，张波. 基于 OpenStreetMap 数据的交通要素处理[J]. 测绘与空间地理信息，2020，43(S1)：63 - 64.
[12] 王润民，刘丁贝，胡锦超，等. 车联网环境下基于模糊逻辑的交通拥堵检测方法[J]. 计算机应用研究，2020，37(6)：236 - 240.
[13] 孙盛燕，杨兵. 递增负荷运动时 RPE、心率和血乳酸的关系[J]. 湖州师范学院学报，2015，4(2)：68 - 73.

Warning Distance Aware - based V2X Safe Navigation Model

XU Huibin[1,2]

(1. School of information Engineering, Huzhou University, Huzhou 313000, China;
2. Zhejiang Province Key Laboratory of Smart Management and Application of Modern Agricultural Resources, Huzhou 313000, China)

Abstract: According to the heterogeneous characteristics of vehicular network (V2X), a safe navigation model (CSNM) based on Cellular and 802.11p protocol is proposed. The CSNM model firstly analyzes the characteristics of various scenarios in heterogeneous V2X, and then deduces the warning distance in various scenarios. The vehicle receives a message containing a warning distance to improve driving safety. The simulation results show that the communication of V2V and V2N modes can improve the reliability of secure message interaction, reduce the delay of transmission message, and reduce the error of the estimation of warning distance.

Keywords: V2X; safe navigation; 802.11p protocol; cellular; warning distance

[责任编辑　高俊娥]