
A Vehicle Mobility Model of VANET by Considering Avoidance

Deng Yuanyuan, Zhou Peng, Xiao Xiaoqiang

College of Computer, National University of Defense Technology, Changsha, China

Email address:

llqq000@163.com (Deng Yuanyuan), 1092873889@qq.com (Zhou Peng), xqxiao@nudt.edu.cn (Xiao Xiaoqiang)

To cite this article:

Deng Yuanyuan, Zhou Peng, Xiao Xiaoqiang. A Vehicle Mobility Model of VANET by Considering Avoidance. *Science Discovery*. Vol. 4, No. 5, 2016, pp. 336-341. doi: 10.11648/j.sd.20160405.24

Received: September 25, 2016; **Accepted:** November 2, 2016; **Published:** November 5, 2016

Abstract: Environment of communication, traffic density and other factors have a significant impact on the signal transmission of Vehicular Ad Hoc Network (VANET). Therefore, a suitable mobility model is of great importance for the design and performance evaluation of VANET protocol. In this paper, we expand the IDM_{LC} model by considering the real features of vehicle mobility and introduce the avoidant behaviors for special vehicles (e.g. ambulances, fire engines, etc.). We propose a mobility model calls IDM_{LCA}, and complete the simulation scenarios using a network simulation tool –NS3. The experimental result shows that the mobility model IDM_{LCA} is effective and feasible.

Keywords: VANET, Mobility Model, IDM_{LC}, IDM_A, NS3

一种考虑避让的VANET车辆移动模型

邓媛媛, 周鹏, 肖晓强

国防科学技术大学计算机学院, 长沙, 中国

邮箱

llqq000@163.com (邓媛媛), 1092873889@qq.com (周鹏), xqxiao@nudt.edu.cn (肖晓强)

摘要: 由于通信环境、车流密度等因素对车载网络 (VANET) 信号的传输有很大影响, 因此合适的移动模型在车载网路由协议的设计和性能评估中扮演着重要的角色。本文基于真实的车辆运行特性, 在考虑驾驶员跟驰行为的基础上, 引入对特殊车辆 (比如急救车、消防车等) 的避让行为, 对车载移动模型IDM_{LC}进行拓展, 提出了一个考虑避让行为的移动模型IDM_A, 使其能够有效模拟普通车辆对特殊车辆的避让行为, 并通过网络仿真工具NS3完成仿真场景的搭建。实验结果验证了所提出的IDM_{LCA}移动模型的可行性及有效性。

关键词: 车载自组网, 移动模型, IDM_{LC}, IDM_A, NS3

1. 引言

车载网络 (Vehicular Ad Hoc Network, VANET) 是智能交通的一个重要组成部分, 它以车辆作为移动自组网的节点采集发送实时的道路交通信息, 不仅能够通过冲撞规避和安全预警系统改善驾驶员的安全驾驶环境, 还可以减

少交通事故伤亡人数以及缓解交通拥塞[1]。尽管在真实环境中评估车载网络的性能非常关键, 但是由于逻辑难度、经济问题和技术限制, 使得仿真成为验证车载网路由算法的最好选择。当设计仿真环境时, 必须定义合适的车辆移动模型才能恰当的反映真实的车辆运动模式。

早期的VANET仿真环境通常采用随机移动模型，例如随机漫步模型(Random Walk Mobility Model)、随机路点移动模型(Random Waypoint Mobility Model)、随机方向移动模型(Random Direction Mobility Model)[2]。但车辆行驶轨迹受交通环境和法规环境等客观因素的影响，并非随机移动，所以随机移动模型难以准确模拟VANET的场景。随着人们对车联网研究的不断深入，VANET研究者根据不同的研究方向提出了不同的模型，车辆移动模型的形式和复杂性都得到了极大的扩充。例如根据相邻车辆信息建立车辆跟驰行为的IDM模型，可以进行十字路口管理和多车道控制的IDM_IM移动模型，可以切换车道的IDM_LC移动模型等[3]，但是它们大都基于单一种类车辆的标准驾驶行为建立，没有考虑道路场景中特殊车辆的加入而引起的车辆避让行为(图1)。这种避让行为将打破车流的基本行驶模式，影响路由协议的性能评测。

本文基于真实的车辆运行特性，在考虑驾驶员跟驰行为的基础上，对车载网络移动模型IDM_LC(Intelligent Driver Model with Lane Change)进行拓展，提出了一个考虑避让行为的IDM_A(Intelligent Driver Model with Avoidance)模型，通过网络仿真工具NS-3完成VANET场景搭建，并采用离散参数取值的方法对不同车流密度下的车辆避让行为所引起的车辆轨迹改变进行仿真分析。仿真结果表明，所搭建的场景能够有效模拟车辆的避让行为，不同车流密度下车辆行驶轨迹受避让信号的影响不一。

2. 考虑避让行为的车辆移动模型IDM_A

普通车辆对特殊车辆的避让行为，并不完全符合基本的变道驾驶模式。如图1所示，当特殊车辆(救护车)前行时，其前方的车辆将变道驶入两侧的车道。在车载网络路由算法中，这种行车模式的改变对车辆的行驶方向预判、车流密度以及连通性的估算等方面产生重要影响，所以能反映车辆交通真实行为的移动模型尤为关键。

鉴于IDM_LC(Intelligent Driver Model with Lane Change)[4]模型对车辆的基本行驶模式的良好体现，IDM_A移动模型在IDM_LC模型的基础上进行拓展，通过进行车辆分类以及建立通信来模拟车辆对避让信号接收等方式，以实现车辆避让驾驶行为的模拟。

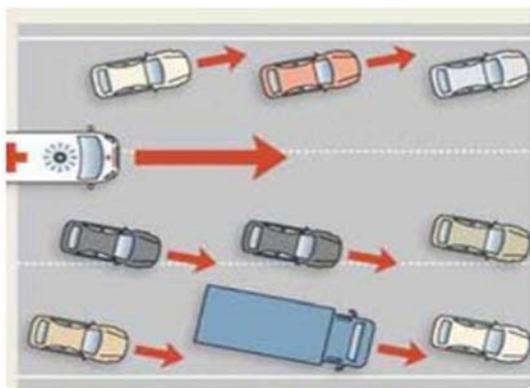


图1 车辆避让行为。

2.1. IDM_LC模型

IDM_LC模型是在IDM(Intelligent Driver Model)模型的基础上发展而来。IDM模型考虑驾驶员的跟驰行为，车辆的速度受前车速度的影响。IDM_LC使用MOBIL模型控制车辆的变道行为。

当下面的不等式成立时，则允许进行变道：

$$a^l - a \pm a_{bias} > p(a_{new} - a_{new}^l) + a_{thr} \quad (1)$$

$$a_{new}^l > -a_{safe} \quad (2)$$

在不等式(1)中， $a^l - a$ 表示当前车辆选择变道到 l 之后的加速度增加的量， $a_{new} - a_{new}^l$ 表示当前车辆进入的候选车道后，后面的那辆车加速度的损失， p 为礼貌参数，当 p 的值在0到1之间，司机的行为越礼貌，则 p 的值越小。 a_{thr} 表示允许车道改变的最小加速度增益阈值，如果它的值很大，那么该车辆将不会进行变道。 a_{bias} 用于调整模型中偏好的移动行为，在IDM_LC中车辆变换车道会引入 a_{bias} ，使模型与车辆右侧通行的行为相符合。不等式(2)表示在当前车辆变换到 l 车道以后，在新的车道上，当前车辆后面的车的减速度必须大于安全值 a_{safe} 。

IDM_LC移动模型虽然可以良好的反映车辆的超车变道行为，但是无法对车辆的避让变道行为进行有效的模拟。主要原因有以下两点：

- 第一、IDM_LC移动模型与其他大多数移动模型一样，设定所有的车辆节点都处于平等的状态，且遵守同样的移动规则，并不对车辆进行优先级别的区分。
- 第二、IDM_LC移动模型只是以当前车辆为中心，通过收集其附近车辆的行驶状态信息(比如距离、位置、速度、加速度等)模仿自然驾驶行为，并没有考虑远距离车辆之间的信息交互。所以，仅能有效反映驾驶员对视野中的交通状况做出的反馈行驶行为，无法对声音(比如避让信号，警笛)等，可以较远距离传输的信息做出恰当的反映。

2.2. IDM_A模型结构

针对IDM_LC无法有效反映避让驾驶行为的两大问题，构建IDM_A车辆移动模型结构如图2所示。车辆分为A(特殊)和B(普通)两种不同类型，并假定每辆车都可以通过WiFi接收到特殊车辆发出的避让信号。车辆的行驶轨迹模拟方式如下：

(1) A类特殊车辆

A类车辆只在绿色安全车道(中间车道)行驶，其行驶轨迹按IDM移动模型设定，车辆不因外界情况进行变道行为。并间断性广播避让信息，模拟紧急车辆的警笛信号。

(2) B类普通车辆

当场景中没有A类车辆行驶时，B类车辆按照IDM_LC车辆移动模型设定的轨迹行驶。一旦通过WiFi信息交换获得A类车辆的存在，则在保证安全的情况下进行避让驾驶。其具体方式为：中间车道上位于紧急车辆前方的B类车辆，

在保证安全的条件下驶入其他车道；而非中间车道的B类车辆进行减速行驶，以确保中间车道行驶的车辆能够安全变道。

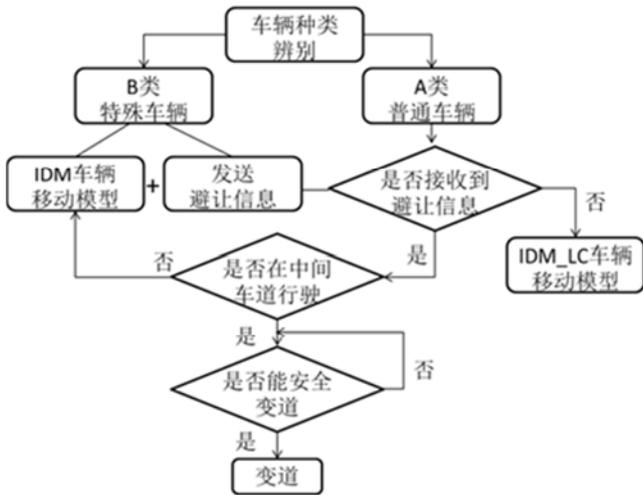


图2 IDM_A模型结构。

3. VANET避让仿真场景搭建

由于车载网的特殊性，对VANET的仿真不仅要考虑网络相关问题，也要考虑车辆本身的移动性。针对不同的测试需求，根据网络仿真器与移动模型的交互情况，通常将VANET仿真划分为三种形式：孤立方式、嵌入方式、融合方式[5]。

孤立方式允许移动性和网络建模独立发展，是早期VANET仿真的主要形式，但是不适应绝大多数VANET研究对交互的广泛需求。融合方式是当前主流的仿真形式，这种方式可以使最先进的移动模型或交通仿真器与最新且高效的网络仿真器一起工作。例如TraNS[6]，它将交通仿真器SUMO[7]与网络仿真器NS-2[8]相融合，通过接口实现从SUMO中提取路径后传给NS-2和命令从NS-2发送至SUMO的交互。但是由于同时运行两个仿真器，所需要的计算量非常大，且不同仿真器之间存在通信延时。对动态拓扑变化快的VANET来说并不是理想的选择。嵌入方式使移动模型和网络仿真器融合在单一的仿真器中，仿真器之间可以简单而高效的交互，使节点位置更为精确的同步。对这种嵌入方式的仿真结构对交通安全、交通效率等信息收发的实时性要求高的VANET相关应用仿真准确性更高，是VANET仿真的未来发展方向，但是这种嵌入方式存在移动仿真或网络仿真的能力限制的问题一直是有待解决的难题

3.1. 仿真工具NS-3

开源网络仿真器NS-3 (Network Simulator 3) 是一款面向网络系统的，主要用于研究和教学的离散事件模拟器[9]。它在多款主流网络仿真模拟器的基础上研发，吸收优点，摒弃缺陷。且NS-3中包含了IEEE 802.11p PHY/MAC层的实现，因此，NS-3是对于VANET是最合适的仿真器。

图3是NS-3的功能模块示意图。从图中可知NS-3有着强大的模拟功能。其基本功能模块分为六层：核心层、网

络层、移动与互联网层、协议与应用等模块层、辅助工具层及测试层[10]。NS-3仿真支持基于IP和非IP网络研究，大多数研究人员关注点主要集中在wireless/IP模拟，以及各种静态或动态的路由协议，比如OLSR、AODA[11]等。NS-3本身包含一些简单的移动模型，例如静态模型，随机漫步模型等，其节点的运动模式和大多数VANET所需的车辆行驶场景相差甚远，但为VANET实现嵌入式仿真架构奠定了基础。

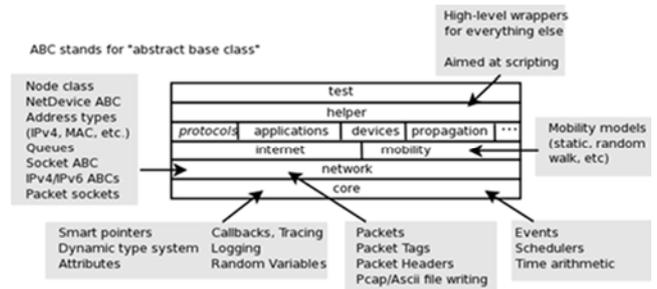


图3 NS-3的功能模块示意图。

3.2. 基于NS-3的IDM_A移动模型搭建

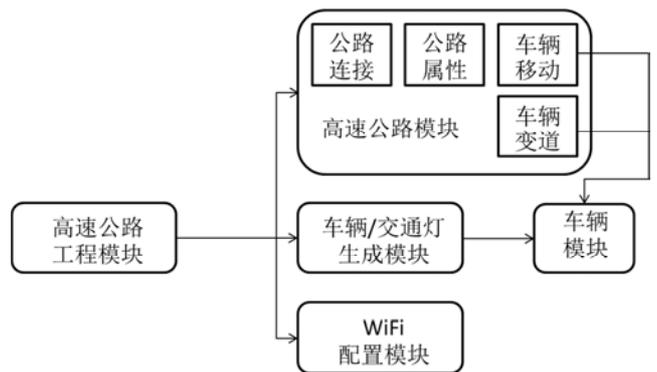


图4 IDM_A移动模型基本架构。

因Bradley Dupont在网络仿真器NS-3中完成了以IDM_LC移动模型为基础，添加了道路场景因素的VANET-Highway[12]场景模块的搭建，成功将移动模型和网络仿真器融合在单一的仿真器中，实现了嵌入式仿真架构；对交通安全、交通效率等信息收发的实时性要求高的VANET相关应用仿真准确性更高。IDM_A车载网络移动模型的搭建沿用了车载网仿真场景VANET-Highway基本架构。在其基础上实现VANET避让仿真场景实现。

具体方法如下：

- (1) 将模拟场景由单向单条公路加以拓展。由于只需要模拟避让行驶行为，设定为车道宽度为5m，长度为1000m长三车道单向行驶路段。车道坐标由纵坐标表示，从上至下分别为10.0, 5.0, 0.0。中间车道(纵坐标为5.0)为紧急车辆绿色通道。
- (2) 车辆分为两种类型。B类紧急车辆Vehicle ID=-1, Type ID=3; A类车辆Type ID=0, Vehicle ID根据出现时间从0开始以整数赋值。

(3) 实现避让消息的广播与接收,需在vehicle类中加入packet成员并编写相关函数代码,使其具有简单的消息收发功能。

避让实现的关键处理流程如图5所示。Aside为避让车道标志位,Aside=0表示当前车辆不需要进行变道,比如当前车辆处于紧急车辆后方,即使处于中间车道且在信号传输范围内,但是不需要进行变道;Aside=1表示此时的场景环境需要当前车辆在保证安全的情况下进行变道行驶。

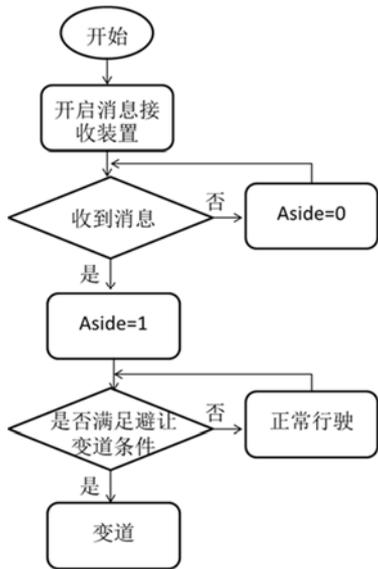


图5 避让变道实现流程。

为了模拟避让驾驶行为,构建三车道单向行车路段场景。设置公路长度为1000m,单条车道宽度为5m,所有车辆从左向右行驶。代码通过waf编译运行后,可以获得记录车辆移动信息的vehicleTrace.csv文件和记录通讯信息的networkTrace.csv文件,这两个trace文件用于可视化处理可视化。可视化软件vehiclevviewer使用NetBeans进行编译处理,运行结果如图6所示。

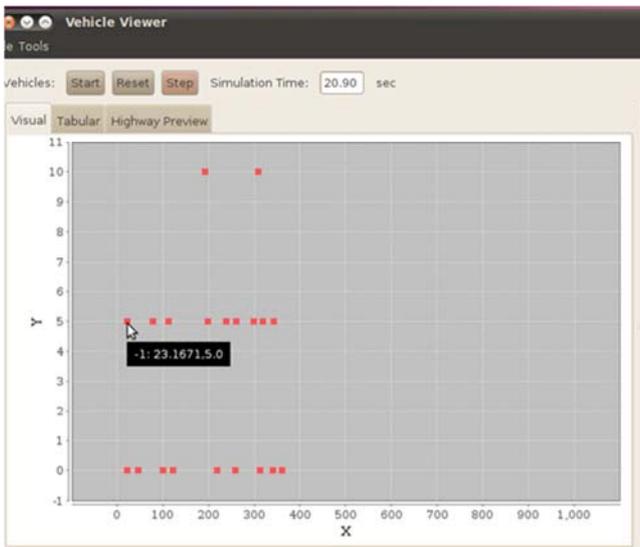


图6 单向三车道场景 (vehiclevviewer)。

4. 仿真及结果分析

4.1. IDM_A避让仿真

为了反映车辆在考虑避让情况的行驶状况,设定紧急车辆在20s时加入场景中间车道,车流密度flow=2辆/s,WiFi通讯距离为200m。因每条车道宽度为5.0m,且方向为 $\pi/2$ 的方向,所以在仿真场景中,3条车道的坐标由横坐标标定,其值从左至右分别为0.0、5.0、10.0。

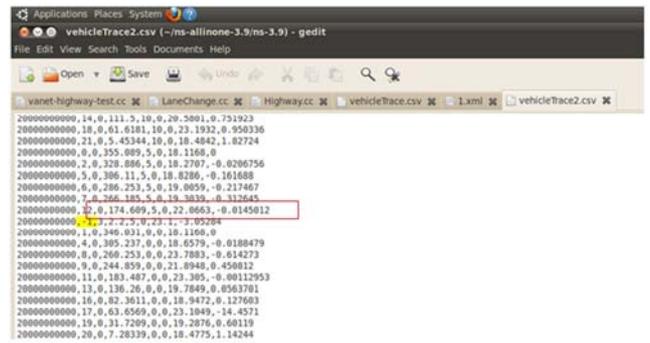


图7 20s时的车辆分布信息。

图7中,参数设定从左至右依次为模拟时间(间隔时间=0.1s)、Vehicle ID、Type ID、横坐标(m)、纵坐标(m)、速度(m/s)和加速度(m/s²)。特殊车辆的ID=-1,显然,Vehicle ID=12的车辆在避让信号通信范围内。在IDM_LC和IDM_A两种车辆移动模型场景下对Vehicle ID=12的车辆行驶轨迹进行模拟。模拟时间20-22s之间(以0.1秒为一个时间节点)时Vehicle ID=12的车辆的车道变换如图4所示。S表示车道的坐标。设定其坐标为S表示车辆行驶的每经过10步,模型会进行车辆变道判定。变道计算发生在加速和平移计算之前。图8为仿真第21s时,道路上的车辆分布情况。显然,IDM_A车辆移动模型场景下的Vehicle ID=12的车辆在21秒已经成功变道,完成了避让行驶。

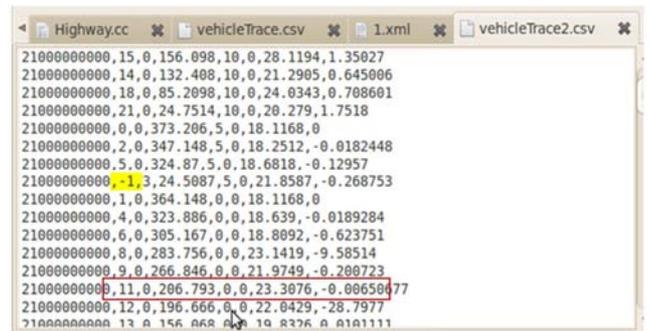


图8 21s时的车辆分布信息。

4.2. IDM_A模型中车流密度对VANET拓扑结构的影响

紧急车辆加入车道后对同路段的车辆具有影响这一点是毋庸置疑的。为了测试IDM_A模型中的避让行驶在不同车流密度场景中对VANET拓扑结构的影响能力,在IDM_LC和IDM_A两种模型的1000m公路场景中,分别对车流密度flow不同取值时,紧急车辆和普通车辆的行驶状况,以及避让造成的路由空洞状况进行分析

加入场景的车辆根据车流密度和车道分布情况随机选择车道加入。虽然车流密度增加，但加入中间车道的车辆数目并不是严格按照车流密度递增的。所以特殊车辆的行驶时间并没有呈现绝对递增趋势，但是两种不同的移动模型场景，由于其车流密度一样，在特殊车辆驶入前场景中的车辆分布一致，所以可以进行比较分析。

如图9所示，当紧急车辆驶入场景时，其前方同车道的车辆数目及位置分布会对其行驶速度产生影响特别是在车流密度为3-5时，IDM_A模型场景特殊车辆行驶1000m所需的时间明显比IDM_LC模型场景少，这段时间车辆避让效果明显。在车流密度特别小时，因场景中的车辆少，而且为了保证行车安全，即便前面没有其它车辆阻碍，特殊车辆的速度只能达到所设定的速度最大值，所以避让行为对特殊车辆的行驶影响力度低，避让带来的效果不明显。在道路上每加入一辆车前会都会提前判断该车道是否有其它车辆，若有，则只有等最接近道路入口的车辆行驶距离大于最小安全距离时新生成的车辆才会驶入场景。所以，即使车流密度增加，在车流密度大于10以后，紧急车辆在IDM_LC模型场景与IDM_A模型场景下行驶所需的时间都趋于一个定值。

紧急车辆加入车道后对同路段的车辆具有影响。中间车道的车辆因为需要避让特殊车道的原因驶入其他车道，使其它车道的密度增加，影响了非中间车道的车辆行驶速度。因将0.5辆/s作为仿真测试的最小车流密度，在20s紧急车辆驶入时，Vehicle ID=10的车辆已经存在场景中。抽取Vehicle ID=10的车辆在不同模拟场景行驶所需的时间进行统计。如图10所示，在IDM_A场景中Vehicle ID=10的车辆所需的行驶时间明显大于IDM_LCA场景。同样，因为新生成的车辆必须等最接近道路入口的车辆行驶距离大于最小安全距离才会驶入场景，所以车流密度大于10以后，车辆在两种场景下所需的行驶时间趋于一个定值。

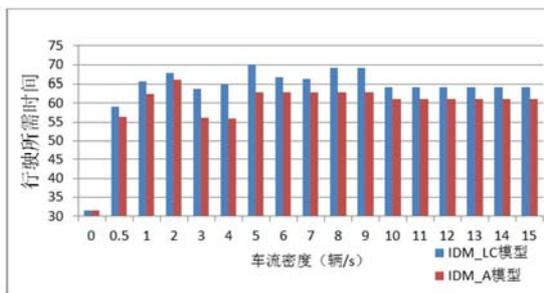


图9 紧急车辆的行驶1000所需时间。

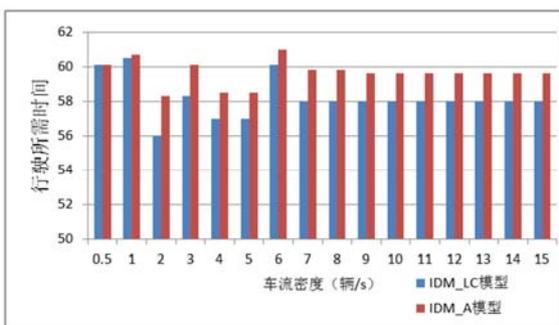


图10 车辆Vehicle ID=10行驶时间对比。

在VANET车载网络中，有些路由算法对下一跳节点的选择是在所有邻居节点中选取距离目标节点最近的点。这种算法(例如GPSR算法[13])有时候会使数据被传输到一个没有比目前节点更接近目的点的节点，该节点的前向区域就是路由空洞[14]。路由空洞会对此类算法的路由协议性能造成严重的影响，导致数据无法正常传输，使数据丢包率上升。图11是不同车流密度下模拟时间为在20s和21s时，紧急车辆与其同车道的车辆最近距离进行分析对比图。显然，在避让场景环境中，中间车道上的车辆因受避让信息的影响进行改道，紧急车辆前面很长一段路都没有阻碍。若是当前节点和目的节点都在中间车道方向，在车流密度低的环境下，是极易造成路由空洞的。

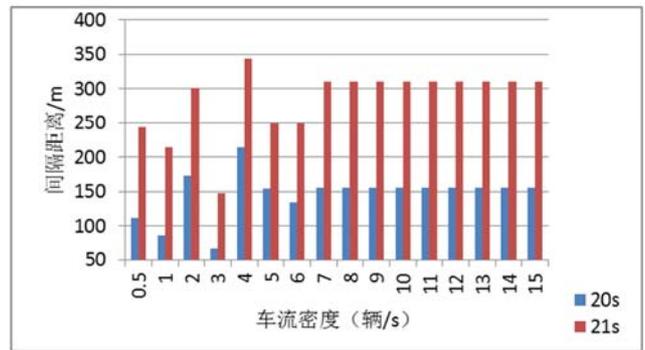


图11 紧急车辆空旷路段长度对比。

因为拥堵状态环境下，无论急救车还是同路段的其他车辆都很难在短时间内快速的改变行驶轨迹。所以以上分析皆是基于路段没有堵塞状态。如果要模拟拥堵环境，可以在路段中设置障碍物。障碍物用静止的车辆模拟。生成obstacle的方法是创建该类的对象然后调用Highway类中的添加车辆的函数，设置车辆的速度加速度以及方向为0.0。

5. 结束

本文在考虑真实的车辆运行特性以及驾驶员跟驰行为的基础上引入对特殊车辆(比如：急救车、消防车)的避让行为，对车载网仿真移动模型IDM_LC进行拓展，提出了一个考虑避让行为的移动模型IDM_A。并在网络模拟器NS-3中实现了对避让移动模型的搭建。并在不同的场景下对其进行模拟测试，实验结果表明所提出的模型的可行性和有效性。由于受到客观因素的限制，本文所设定的模型和场景环境与真实场景还存在较大的差距，在今后的研究工作中，将对其进行进一步细化考虑。

致谢

本文为国家自然科学基金项目《基于组关联的车载网络协同通信关键技术研究》(61272485)的阶段性成果之一。

参考文献

- [1] Hassanabadi B, Shea C, Zhang L, et al. Clustering in vehicular ad hoc networks using affinity propagation [J]. *Ad Hoc Networks*, 2014, 13: 535-548.
- [2] Kotz, D., Newport, C., Gray, R. S., Liu, J., Yuan, Y. & Elliott, C. (2004). Experimental evaluation of wireless simulation assumptions, *Proc. ACM MSWiM' 04*, ACM, New York, NY, USA, pp. 78-82.
- [3] Vinícius F. S. Mota. Protocols, Felipe D. Cunha, Daniel F. Macedo, José M. S. Nogueira, Antonio A. F. Loureiro. mobility models and tools in opportunistic networks: A survey [J]. *Computer Communications*. 2014(48) :5-19.
- [4] 魏达, 王沿锡, 王健, 刘衍珩, 邓伟文. 车载自组网移动模型综述 [J]. *计算机学报*, 2013, 36 (4) :677-700.
- [5] Hannes Hartenstein, Kenneth P. Laberteaux. VANET 车载网技术及应用 [M]. 孙立民, 何云华, 周新运, 刘鸿亮, 赵茂华, 译. 北京: 清华大学出版社, 2013:93-131.
- [6] Multiple Simulator Interlinking Environment for CC2C in VANETs, <http://www.cn.uniduesseldorf.de/projects/MSIE,2008>.
- [7] Simulation of Urban Mobility, <http://sumo.sourceforge.net>
- [8] The network simulator NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [9] The ns-3 network simulator. [DB/OL]. <http://www.nsnam.org>, 2015
- [10] NS-3 Manual. [DB/OL]. <http://www.nsnam.org/docs/release/3.22/manual/singلهtml/>, 2014
- [11] 肖书成, 邱珊. Ad hoc 网络及其路由性能研究 [J]. *重庆邮电学院报 (自然科学版)*, 2004, 16 (3) : 103-107.
- [12] Bradley Dupont. Improvements in VANET Simulator in NS-3 [D]. Virginia: Department of Computer Science Old Dominion University, 2011.
- [13] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless network [C] // *Proc of ACM/IEEE International conference on Mobile Computing and Networking*. New York: ACM press, 2000: 243-254
- [14] Fang Qing, Gao Jie, Guibas L. Locating and Bypassing Routing Holes in Sensor Networks [c] // *Proc. of the 23rd Annual Joint Conference on IEEE Computer communications Societies*. New York, USA: Springer Netherlands, 2004:2458-2468.