

车载自组网的仿真研究综述

肖玲, 李仁发, 罗娟

(湖南大学计算机与通信学院, 长沙 410082)



摘要: 车载自组网是近年来无线网络以及智能交通领域的研究热点之一。在真实环境中测试和评估车载自组网的协议和应用有很大难度, 因此利用车载自组网仿真工具进行研究就成为了一种很有效的技术手段。从车载自组网仿真的研究意义和研究内容出发, 介绍了车载自组网仿真的发展历程和研究现状, 对现有的车载自组网仿真器进行了分类, 介绍和比较了典型的车载自组网仿真器, 最后探讨了目前车载自组网仿真中存在的问题及未来的发展前景。

关键词: 车载自组网; 移动模型; 交通仿真; 网络仿真

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2009) 17-5330-06

Simulation of Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey

XIAO Ling, LI Ren-fa, LUO Juan

(Computer and Communication Department in Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Vehicle ad hoc networks have the most remarkable aspects in the field of intelligent traffic in recent years. The field tests and evaluations of ad hoc networks protocols in real environment are much difficult, so using of vehicle ad hoc networks simulation tools has become a very effective technology. The meanings and contents of the vehicular networks simulation research were addressed. The development process and the status quo of vehicular ad hoc networks simulation were introduced, and then the classification and comparison of the typical vehicle ad hoc networks simulators were proposed. At last, the problems and the development trend of the vehicular ad hoc networks simulation were discussed.

Key words: vehicular ad hoc networks; mobility models; traffic simulation; network simulation

引言

车载自组网(Vehicular Ad Hoc Networks, VANET)已逐渐成为无线网络以及智能型汽车领域热门的研究课题。VANET 是运行于道路上的新型移动无线自组织网络, 可以实现车辆间、车辆与路边通信设施之间的多跳无线通信。VANET 具有极高的应用前景和研究价值, 它不仅能够实现行使安全预警和协助驾驶, 还能实现道路交通信息查询、高速公路缴费和车辆间音视频通信等功能。

车载自组网是极其特殊的移动自组织网络, 因为移动对象是车辆, 它具有区别于传统无线自组织网络的独特特性。VANET 的主要特点^[1]包括:

- 1) 车辆节点移动速度快, 网络拓扑变化快, 路径寿命短。
- 2) 车辆节点移动具有一定的规律性, 只能沿着车道单/双向移动, 具有一维性。
- 3) 道路的静态形状使得车辆移动是受限制的, 车辆运动轨迹一般可预测。
- 4) 无线信道质量不稳定, 受多种因素影响, 其中包括路边建筑、道路情况、车辆类型和车辆相对速度等。
- 5) 节点具有强大的计算能力和存储能力, 没有能源受限问题。

6) GPS 能够为节点提供精确定位和精准时钟信息, 利于获取自身位置信息和进行时钟同步。

7) GPS 和电子地图相结合, 利用路径规划功能, 将使车载自组网路由策略的实现变得更为简单。

VANET 相对于移动自组织网络而言, 既有不利因素(如道路限制、节点高速移动等), 也有有利因素(如丰富的外部信息、无能量约束等), 使得传统移动自组织网中的协议不能很好的适用于 VANET, 需要探索新的协议机制。VANET 的现场试验(Field Tests)通常需要大量的车辆和人员(司机和计算机操作员)才能得出有意义的结果。进行这种实地试验的代价昂贵, 因为需要租用或购买许多车辆和通信设备, 雇用许多实验者。如果是在高速情况下的实地试验, 实验者甚至可能面临潜在的危险, 如碰撞车辆或行人。此外, 实验者很难准确地控制和重复一次现场试验, 而这对于一个新协议或应用程序的问题调试和性能提高是非常不利的。因此利用 VANET 仿真工具进行研究就成为了一种很有效的技术手段。以下论述了车载自组网仿真的发展历程和研究现状, 分析和比较了现有的车载自组网仿真器, 探讨了目前车载自组网仿真中存在的问题及未来的发展前景。

1 车载自组网仿真的发展

车载自组网的仿真涉及到两个重要的方面, 一个是网络方面的仿真, 通过建立网络设备和网络链路的统计模型模拟网络流量的传输, 从而获取网络设计或优化所需要的网络性能数据, 测试各种网络协议。另一个是车辆和交通方面的仿真, 通过建立系统仿真模型模拟司机的驾驶行为和车辆的

收稿日期: 2009-04-25 修回日期: 2009-08-14

基金项目: 国家自然科学基金 (60673061)

作者简介: 肖玲(1977-), 女, 湖南衡阳人, 硕士, 讲师, 博士生, 研究方向为无线网络; 李仁发(1957-), 男, 湖南郴州人, 博士, 教授, 博导, 研究方向为嵌入式系统与网络; 罗娟(1974-), 女, 湖南株洲人, 博士, 副教授, 研究方向为无线网络。

移动,从而获取车辆和交通路况等信息。目前这两方面的仿真工具都已经发展很成熟了,如典型的网络模拟器有 NS-2^[2]、OPNET^[3]、OMNet++^[4]等,典型的交通模拟器有 CORSIM^[5]、VISSIM^[6]、SOMO^[7]等。在 VANET 出现之前,网络模拟器主要用于网络协议的研究,交通模拟器主要用于交通工程的研究,它们分别用在各自的领域中,独立和并行发展的。在 VANET 仿真中,单独用网络模拟器或交通模拟器都不太合适,因为网络模拟器能为网络协议的设计和评价提供了很好的测试平台,但它很难提供车载通信中所需的车辆移动信息,而交通模拟器能提供正确的车辆移动模型,但它很难实现车载网通信时所需的多层通信协议。VANET 仿真时也不能直接使用这两种工具(例如交通模拟器产生的包含车辆移动轨迹的文件不能直接提供给网络模拟器用),因为它们之间的格式不同,也没有提供相应的接口。随着 VANET 的提出和热门,研究者发现在 VANET 仿真中,网络模拟器和交通模拟器之间是相互关联的。比如在上层应用的仿真中,当某辆车检测出危险情况或堵车时,车就把警告信息通过网络模拟器发给它的邻居车辆,这势必会改变交通模拟器中相关车辆的移动轨迹,而改变后的车辆移动轨迹又会对网络模拟器中网络的拓扑和路由等产生影响。因此在车载自组网的仿真中需要把网络模拟器和交通模拟器整合来考虑。

1.1 车载自组网仿真的移动模型

车辆的移动性是车载自组网的显著特性,在对基于车载自组网的系统或协议进行设计或分析评价时,选择一种与现实情况相符合的描述车辆运动方式的移动模型非常重要,因为车辆的移动直接关系到其拓扑结构的变化,影响整个网络的吞吐量、传输时延、路由的有效性等等。在车载自组织网络的仿真研究中,移动模型的选择以及其参数的选择对所获得的仿真结果有重要影响。

1.1.1 车辆移动模型的分类

根据对交通仿真系统中交通流描述的细节程度不同,车辆移动模型可分为宏观(macroscopic)、中观(mesoscopic)和微观(microscopic)三种。宏观交通模型针对车流整体,将交通流近似作为连续流体,依据交通宏观参数如车辆的速度、密度、流量等来描述交通流状态,对像车辆的车道变换之类的细节行为不予描述。中观交通模型对交通流的描述往往以若干车辆构成的队列为单元,能够描述队列在路段和节点的流入和流出行为,对车辆的车道变换之类的行为也可以简单进行近似描述。微观交通模型对交通流的描述是以单个车辆为基本单元的,车辆在道路上的跟车、超车及车道变换等微观行为都能得到较为真实的反映。在车载自组网的仿真中,微观移动模型更能真实反映单个车辆的运动情况以及车与车之间的相互关系,适合于在计算机上精确再现路网上的实际交通状况。

根据车载自组织网络仿真时建立移动模型所采用的方法不同,可以分为三种^[8]。一种是采用合成模型(Synthetic Models),即在仿真过程中,根据车辆以前的位置等参数,

按照某种特定规则或公式实时计算确定车辆在当前时刻位置的办法。它涵盖了所有基于数学模型的方法。合成模型又可以分为随机模型(stochastic models)、交通流模型(traffic stream models)、车辆跟驰模型(car following models)三类。随机模型是车辆在表示道路拓扑的路线图上选择随机的路径和速度移动。交通流模型是从宏观的角度把车辆的移动视为一种流体力学现象,将交通流近似作为连续流体,依据交通宏观参数如车辆的速度、密度、流量等来描述车辆的流动。车辆跟驰模型是指每辆车的驾驶员根据当前周围车辆的位置、速度等信息计算出车辆的最新位置。合成模型的主要缺点是缺乏对人类行为的真实模拟,因为人类行为毕竟不同于机器,不可能用某个特定的程序来实现。另一个缺点是只有少量的非常复杂的模型才接近车辆的真实运动。

在车载自组网仿真时有一种是基于轨迹的模型(Trace-based Models),即在仿真过程中让车辆按真实记录的轨迹移动。这种方法大多是通过车载装置和辅助装置每隔一定周期进行跟踪测量并记录下来,将数据保存成轨迹文件。在网络仿真时,通过读取这些文件来重放车辆的移动过程,每隔一定时间把模拟节点的位置和它相对应的车辆移动轨迹的位置进行同步。基于轨迹的模型在网络仿真中能最真实的反映车辆的移动,但是这种方法固有的局限性在于仿真中很难对它进行各种参数的修改,另外目前能提供免费数据的也很少。

在车载自组网仿真时还有一种是基于交通仿真工具的模型(Traffic Simulators-based Models),即在仿真过程中导入利用交通模拟器产生的车辆移动的样本文件,而交通模拟器一般可以用合成模型和基于轨迹的模型来产生车辆移动的样本文件。

1.1.2 VANET 仿真中移动模型的发展

在无线网络仿真中考虑到节点的移动性时,广泛采用的是几种简单的随机移动模型,如随机步行移动模型(the Random Walk model),随机方向移动模型(the Random Direction model),随机路点移动模型(The Random Waypoint model)等等。随机路点移动模型被用在很多 Ad Hoc 网络协议的仿真研究中,因为它能够很逼真地表示 Ad Hoc 网络中节点的随机运动。但是在 VANET 仿真中,像随机路点移动模型这样的简单随机移动模型不能真实反映车辆的移动情况,因为在 VANET 中,车辆的运动路径是在既定的道路上,不会做出各种曲线运动,并且车辆的运动速度受规定车速、道路交通状况和交通控制机制的限制。文献[9]指出在车载自组网中采用随机路点移动模型仿真得出的结果是毫无意义的。

在车载自组网早期,Davies 提出的城区移动模型(City Section mobility model)^[10]把节点的移动约束在网状拓扑结构的路网图中,每条边看成是双向、单车道的路段。节点在路网图的一个特定位置开始运动,然后随机选取一个路网中的任一交叉点为目标,以恒定的速率移动。到达目标后,移动节点停顿一段特定的时间,然后再随机选择另外一个目标点重复以上过程。该模型将所有的车辆以相同的速率移动,

怪不得momenta
要量产、要仿
真。

SUMO就是这个样
子的,可以随机
产生车辆移动数
据,再把它和net
信息合并,即可
生成路由route信
息。

允许车辆交叠在路口，移动过程中车辆在路口不停顿。该模型没有考虑车与车之间的影响。Bai 等人提出的 IMPORTANT 框架^[11]采用了高速公路移动模型（Freeway mobility model）和曼哈顿移动模型（Manhattan mobility model），在高速公路移动模型中增加了两个机制，一是随机的更新车辆速度，二是定义了车与车之间所需的最小安全距离。曼哈顿模型与城区移动模型类似，也是基于网格的路网图，但它增加了简单的路口转向机制，即采用概率的方法在每一个十字路口选择下一个路段。

Saha^[12]提出的 Rice University Model(RUM)模型基于真实的道路拓扑图，路网地图信息来自美国人口普查局的 TIGER 地理信息数据库，车辆节点随机选择一个点作为目的地，采用最短路径算法选择路径，用于决策每个路段的权值包括记录在 TIGER 数据库中的每条路段的限速和路段上已有的车辆数等信息。

Mahajan 等人^[13]提出了两种城市道路的车辆移动模型：The Stop Sign Model(SSM) 和 The Traffic Sign Model(TSM)。SSM 模型首次引入了交通控制机制，在每个十字路口设置了停止信号，迫使每辆车在路口停一小段固定的时间，后面到达的车依次排队等候。TSM 模型引入了多车道和加减速机制，用交通信号灯进一步取代了停止信号。SSM 模型和 TSM 模型产生的车辆移动文件可供网络模拟器 NS2 使用。

STRAW (Street RandomWaypoint)^[14]工具是基于网络模拟器 SWANS 在车辆移动模型上的扩展。它支持从 TIGER 数据库中提取城市路网地图。STRAW 支持微观移动模型，采用车辆跟驰模型和信号灯控制机制，能更真实的模拟由交通信号灯控制的路口管理行为。

开放源码的 VanetMobiSim^[15] 和 SOMO (Simulation of Urban Mobility)^[7]是两款功能强大的微观交通模拟器，它们能实现车辆跟驰模型、换道模型、路径选择、信号灯控制、路口转向等，能真实的模拟城市道路中车辆的移动。例如在单车道或是在不允许超车行为的多车道上，位于后面位置的车辆受到跟驰作用约束，只能紧跟前车行使，而引入换道模型能在多车道的路网中，车辆的跟驰行为在受到邻道车辆影响的同时，只要超车条件满足，车辆就可以进行换道。引入路口转向模型，根据车辆当前行使方向和下一个路段行使方向的位置关系，确定车辆在路口的转向情况（左转、直行或右转）。这两个交通模拟器产生的输出文件可供 NS2、QualNet 等多种网络模拟器使用。

2 车载自组网仿真器的分类

目前用于 VANET 仿真的模拟器有很多，大致可以分为以下四种类型。

第一类是把交通模拟器和网络模拟器进行单向链接，如图 1 所示。交通模拟器创建车辆的移动方式，并存储为移动样本文件。在仿真时，由网络模拟器导入，节点按照移动样本文件记录的方式移动。这种方法缺乏交互性，车辆的移动

轨迹是预先导入到网络模拟器中再进行仿真，仿真时不能改变节点的移动轨迹。如 MOVE^[16]、CORSIM/QualNet^[17]、MITSIMLAB/NS2^[18]。

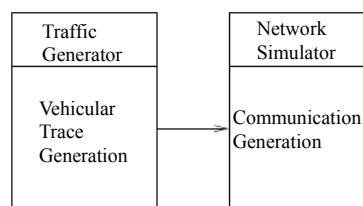


图 1 不可交互的 VANET 模拟器

第二类是把网络模拟器和交通模拟器进行双向链接，利用中间件进行交互，如图 2 所示。CARISMA/NS2^[19]、TraNS^[20]、Vein^[21]都利用了 TraCI^[22]的中间件。交通模拟器负责模拟道路网和车辆的流动，网络模拟器负责模拟网络协议，它们之间可通过 TCP 连接实现双向的链接来进行实时交互。路网拓扑信息等为交通模拟器所单独拥有，无线链路状态等信息为网络模拟器所单独拥有，而其他诸如车辆的位置、速度等信息为两个模拟器所共享。与第一种类型的模拟器不同，车辆的移动轨迹不是预先确定不变的，而是实时变化的。仿真时每辆车的最新位置信息由交通模拟器传给网络模拟器，位置的更新信息可每隔一定周期进行自动更新或通过网络模拟器发出请求来更新。在网络模拟器中，如果车辆收到来自车载自组网中其他车辆的消息，并且这个消息是决定改变自己的驾驶行为（例如改变目前的路线以避免拥挤或危险地区或者是立即停止以避免碰撞等），网络模拟器就会即时发送一个请求给交通模拟器，要求交通模拟器做相应的车辆位置和路线的变化。这种类型的模拟器优点就是实现了网络模拟器和交通模拟器的交互，另外它可以整合任意的网络模拟器或交通模拟器。这种模拟器的不足之处在于两个独立的模拟器可能有不同的设计、实现和定义（例如它们采用的坐标系统和对车辆持续运动的表示会不同），利用中间件来转换，会导致执行性能的降低。此外，由于这两个模拟器的松散耦合，并可能运行在不同的计算机上和不同的操作系统平台下，仿真的性能可能会因为过多的消息传递（如用于两个模拟器之间仿真时间同步的消息）会有所降低。

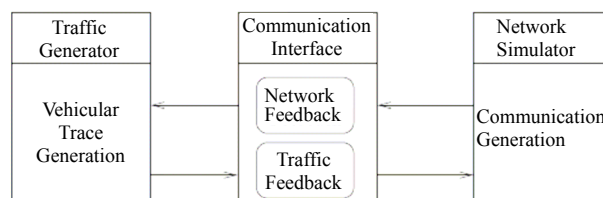


图 2 可交互的 VANET 模拟器

第三类是整合成一个模拟器，具体实现有三种方法，如图 3 所示。第一种方法就是把网络仿真功能集成到一个现有的交通模拟器中。但是把通讯模式和网络协议仿真功能加入到现有的交通模拟器是非常复杂的事情，因为当前存在着大

量不同的通信模式和网络协议,例如,IEEE 802.16 标准的 WiMAX 和 IEEE 802.11 标准的 WiFi 等等,因此这种方法很耗时,据我们了解目前还没有发现采用此方法实现的模拟器。第二种方法是添加车辆的移动仿真功能到一个现有的网络模拟器。把现有的网络模拟器扩展到包括道路网络仿真和车辆的移动模型仿真这种方法是可行的,因为现有的网络模拟器中已经能够模拟移动节点运动(如常用的随机路点移动模式),在此基础上只要增加对模拟道路网络和更符合车辆运动的节点移动模型的支持。这相对于实现各种复杂的通信模式和网络协议,花费的代价要小得多,也更容易实现。如 NCTUns^[23] 和 STRAW/SWANS^[14]。第三种方法是制定一个新的模拟器,从零开始添加所有的功能,这种方法将需要大量的时间和精力,如 MOVES^[24] 和 Gorgorin^[25]。整合成一个模拟器的好处是网络仿真和交通仿真子系统的编程能在一个程序中实现,两个子系统能紧密的耦合更利于及时的交互与反馈。

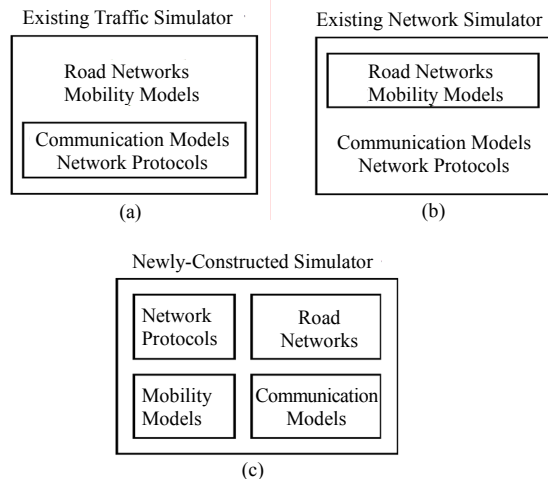


图3 整合成一个VANET模拟器的三种方法

第四类是集成多类不同的模拟器组成一个综合仿真环境,并能为 VANET 上层应用提供测试环境,这对于智能交通运输系统(Intelligent Transportation System, ITS)的应用和研究非常重要,如 CARLINK-CMU^[26]、MSIE(Multiple Simulator Interlinking Environment)^[27]、AutoMesh^[28]。有的还能提供真实车辆和软件模拟相结合的混合测试环境,如 GrooveNet^[29]、VSimRIT^[30]。混合式模拟器的优点是给用户提供了更直观的感觉,能够快速建立原型,用真实的无线通道、链路层和网络层特性来评价协议和测试具体应用。此外,混合仿真也为开发者提供了精确的反馈信息和设计仿真模型时所需的必要细节。

3 典型车载自组网仿真器介绍

3.1 MOVE

MOVE^[16] (MObility model generator for VEhicular networks)是澳大利亚新南威尔士大学开发的移动模型生成器,它将交通仿真工具 SUMO 与网络仿真工具 NS2 或

Qualnet 整合,利用 SUMO 产生的车辆移动样本(mobility patterns)转换成可供 NS2 或 Qualnet 网络模拟器使用的脚本文件,为网络仿真工具提供 VANET 的模拟环境。MOVE 分为三个模块:地图模块(Map module)、移动模块(Move module)和交通模块(Traffic module)。地图模块负责路网地图的构建与维护,例如路网地图的节点与道路,用户可自行定义道路的参数(如车道数、道路长度、车速),也可引用 TIGER 这种真实的地图资料库来增加模拟的真实性。移动模块则是在已经产生好的路网地图中设定车辆的移动参数(如车流量、车辆的转弯等),也可用随机的方式产生。MOVE 将以上参数输入到 SUMO 来产生实际的车辆移动轨迹,通过交通模块进行处理后导入到网络模拟器 NS2 或 Qualnet 中,来进行网络效能的评估。MOVE 还提供了一系列图形用户界面,使用户可以快速生成逼真的模拟情景而不需要了解模拟器内部的具体细节。

由net文件和trips文件生成route文件

3.2 TraNS

TraNS^[20] (Traffic and Network Simulation Environment)是瑞士洛桑联邦理工学院开发的用于 VANET 的仿真环境,是第一个开放源码的、提供了一个完整的以应用为中心的 VANET 评价框架。TraNS 通过 TraCI(Traffic Control Interface)的接口形成一个反馈环,实现了交通仿真工具 SOMO 和网络仿真工具 NS2 的双向链接和实时交互。TraNS 提供了图形用户接口来快速、简单地设置仿真时所需的参数。

TraCI^[22]是 TraNS 实现网络仿真工具和交通仿真工具交互的关键部分。TraCI 采用客户/服务器模式,网络仿真工具充当 TraCI 的服务器端,交通仿真工具充当 TraCI 的客户端,交通模拟器和网络模拟器通过 TCP/IP 连接进行互相通信。交通模拟器和网络模拟器之间的数据交换由网络模拟器控制,网络模拟器向交通模拟器发出请求命令,交通模拟器一旦接收到请求命令,就执行一系列动作,使得交通模拟器可以根据在网络模拟器中的信息快速地调整每个车辆的移动。为确保两个模拟器之间的同步,网络模拟器每隔一个仿真步长(simulation step)的时间就发送一个命令给交通模拟器,该命令包含该次仿真时间段开始的时间加上一个仿真步长的时间(通常仿真步长根据不同的应用设为 1 秒或 0.1 秒)。交通模拟器每次在下一个仿真时间段开始时把车辆的位置信息反馈给网络模拟器,这些离散的车辆位置信息通过网络模拟器转换成车辆的线性运动,这样就可以在网络模拟器中提供车辆的实时移动轨迹。

TraCI的简介

Veins^[21] (Vehicles in Network Simulation)是德国埃尔兰根大学开发的 VANET 仿真环境,可实现网络仿真工具和交通仿真工具的动态交互。Veins 与 TraNS 类似,只不过它是用的网络模拟器 OMNet++。

3.3 NCTUns

NCTUns^[23]是台湾交通大学研制的一种用于 VANET 研究的模拟器。最初的 NCTUns1.0 版本只具备网络仿真能力,

从 NCTUns4.0 版本开始, 逐步包含了交通仿真功能, 如路网的构建和微观车辆移动模型, 现在的 5.0 版本实现了一个完整的 IEEE 802.11p^[31]标准定义的无线车载自组织网络。

NCTUns 由图形用户界面、模拟引擎 (Simulation Engine)、汽车代理 (Car Agent)、信号代理 (Signal Agent) 四个部分组成。NCTUns 采用了隧道网络接口 (Tunnel Network Interface, TNI) 直接使用真正的 TCP/IP 协议栈, 确保高保真的模拟结果; 能把交通仿真与现有的网络仿真紧密集成在一起, 并提供了一种快速反馈环路。

3.4 MoVES

MoVES^[24] (Mobile Wireless Vehicular Environment Simulation) 是由意大利博洛尼亚大学开发的并行和分布式移动无线车载环境的仿真框架, 该框架以模块化设计为基础, 分层建模, 支持可扩展性。车辆模型层包括车辆移动模型、驾驶员行为, 基于 GPS 的街道地图, 红绿灯和交叉路口管理策略等。无线通信层目前包括信号传输模型、网络协议栈等。

3.5 GrooveNet

GrooveNet^[29]是卡内基梅隆大学开发的继 GrooveSim^[32]之后的一种混合式 VANET 模拟器, 提供真实车辆和仿真车辆相结合的混合测试环境, 不仅能支持模拟车辆之间的通信, 还能支持真实车辆与模拟车辆之间的混合通信。实际车辆配有 GPS 定位装置、车载计算机和无线网络接口, 与在它通信范围内的仿真车辆采用相同的协议和数据包类型进行通信。GrooveNet 由车辆仿真器、网络仿真器、网络和设备接口、车辆操作控制器四个部分组成, 采用模块化结构, 具有定义良好的模型接口, 能方便的添加新模块。

3.6 VSimRIT

VSimRTI^[30](V2X Simulation Runtime Infrastructure) 是由德国柏林理工大学和克莱斯勒股份公司联合创建的戴姆勒汽车信息技术创新研究所(DCAITI)开发的 VANET 仿真框架, 他们早期开发的 VANET 模拟器为 MSIE (Multiple

Simulator Interlinking Environment)^[27]。VSimRTI 提供了各种模拟器的接口, 如网络模拟器、交通模拟器、环境模拟器等, 能实现对多种模拟器的动态耦合。为了实现各个模拟器之间的同步和通信, 采用了 IEEE 标准定义的建模与仿真高层体系结构(modelling and simulation high level architecture)。VSimRIT 采用遥控模型车代替真实车辆, 提出了遥控模型车和模拟器中的仿真车辆相结合的体系结构, 实现了混合测试环境。每辆遥控模型车上配备有嵌入式芯片和传感器用于通信和障碍物检测。用遥控模型车代替真实车辆的优点是更容易以较小的代价来扩展车载自组织网的规模。

4 典型车载自组网仿真器比较

考虑到各 VANET 模拟器各具特色, 在不同的应用环境中有着各自不同的表现, 本节从影响 VANET 仿真结果的几个重要特征对多种 VANET 模拟器进行分析比较, 如表 1 所示。

道路拓扑图的选择是获得真实仿真结果的关键因素, 因为道路的长度、交叉路口的多少、车道数目等都会影响车辆的移动特性。VANET 模拟器一般有以下几种方式来产生道路拓扑图: 用户自定义、随机方式和引用地理信息数据库的真实地图。表 1 显示基本上所有的 VANET 模拟器都支持导入真实的地图, 大多数 VANET 模拟器都支持多车道。

车辆行为的仿真也是影响仿真结果的重要因素之一, 主要包括车辆跟驰行为和车辆换道行为。车辆跟驰模型是 VANET 仿真中最重要的动态模型, 目前所有的 VANET 模拟器都支持车辆跟驰模型。是否支持车辆变换行为也将影响仿真结果的真实性。例如在应用仿真中, 车辆在多车道的道路上遇到故障或遇障碍物时, 如果缺乏变换车道的能力, 后面的车辆只能停止。然而, 在现实生活中, 驾驶员可以改变车道来避免车辆的碰撞。此外, 缺乏车辆换道能力也就意味着在仿真时不允许超车, 那么仿真时形成的 VANET 拓扑结构在整个仿真过程中都不会改变, 在这种简单而不真实的情况下得出的仿真结果是没有意义的。表 1 显示只有部分 VANET 模拟器支持车辆换道行为。

表 1 典型 VANET 仿真器比较

Simulator	Taxonomy	Real maps	Multi lane	Lane Changing	Radio obstacles	Visualization tool
Move ^[16]	1	Yes	Yes	No	No	Yes
CORSIM/QuelNet ^[17]	1	Yes	Yes	Yes	No	Yes
MITSIMLAB/NS2 ^[18]	1	Yes	No	No	No	No
CARISMA/NS2 ^[19]	2	Yes	No	No	No	Yes
TraNS ^[20]	2	Yes	Yes	No	No	Yes
Vein ^[21]	2	Yes	Yes	No	No	Yes
NCTUns ^[23]	3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
MOVES ^[24]	3	Yes	No	No	No	Yes
STRAW/SWANS ^[14]	3	Yes	Yes	Yes	No	No
Gorgorin ^[25]	3	Yes	Yes	Yes	No	Yes
AutoMesh ^[28]	4	Yes	Yes	No	Yes	Yes
GrooveNet ^[29]	4	Yes	No	No	No	Yes
VSimRIT ^[30]	4	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

VANET 是非常特殊的移动自组织网络,具有时变性,并且路面的环境比较复杂。影响 VANET 网络中无线链路质量的因素也有很多,如发送和接收节点的相对运动、周围节点的运动、周围环境如建筑物、路标、树木等障碍物,都能阻断无线信号的传播或降低无线信号的功率,影响数据传输的稳定性。因此 VANET 模拟器能支持障碍物仿真也很重要,表 1 显示只有 NCTUns、CARISMA/ns2、AutoMesh 有这个能力。

最后比较的特性是 VANET 模拟器是否支持可视化工具。可视化工具就是一些 GUI 程序,可以实现在仿真过程中或仿真结束后显示道路网络和车辆移动情况,有的还可地动态调整网络或车辆移动参数动态显示。提供可视化可以非常有效的观察、控制车载自组网络。表 1 显示除了 STRAW/SWANS 外都提供了可视化界面。

5 结论

车辆自组网作为解决智能交通运输系统的关键技术之一,已经得到了许多汽车制造商、政府部门和学术研究机构的广泛重视。在真实环境中测试和评估车载自组网的协议和应用有很大难度,因此利用 VANET 仿真工具进行研究就成为了一种很有效的技术手段。本文从车载自组网仿真的研究意义和研究内容出发,介绍了车载自组网仿真的发展历程和研究现状,对现有的车载自组网仿真器进行了分类,介绍和比较了典型的车载自组网仿真器。

国外的 VANET 仿真研究目前来说,都是“各自为政”式的自主开发,各种仿真器各有其特性和优势,但因其研究定位和重点的不同,在一定程度上都存在或多或少的缺陷与不足。目前并没有形成一到两种主流的 VANET 仿真器。与国外相比,就车载自组网仿真的一个重要方面——交通仿真来说,国内起步较晚。目前也有一些高等院校和科研单位进行了交通仿真系统的研究与开发,但是把交通仿真和网络仿真相结合,可以用于车载自组网仿真的 VANET 仿真器的几乎还没有。

VANET 仿真领域的研究内容涉及计算机、交通工程、统计学、心理学等多门学科,呈现出多学科交叉的态势。随着 VANET 仿真研究的不断深入,并使研究成果用以道路交通信息查询、安全预警和协助驾驶,能够使城市中的交通状况得以缓解,提高道路安全和运输效率,并最大程度上避免和减少交通事故造成的损失。

参考文献:

- [1] 常促宇, 向勇, 史美林. 车载自组网的现状与发展[J]. 通信学报, 2007, 28(11): 116-126.
- [2] The Network Simulator ns 2. [EB/OL]. [2009-4-6]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>.
- [3] OPNET Simulator. [EB/OL]. [2009-4-6]. <http://www.opnet.com/>.
- [4] OMNet++ Simulator. [EB/OL]. [2009-4-6]. <http://www.omnetpp.org/>.
- [5] CORSIM. [EB/OL]. [2009-4-03]. <http://www.fhwa-tsiss.com/>.
- [6] PTV simulation VISSIM. [EB/OL]. [2009-4-03]. <http://www.english.ptv.de/>.
- [7] SUMO-Simulation of Urban MObility [EB/OL]. [2009-4-03]. <http://sumo.sourceforge.net/>.
- [8] J Haerri, F Filali, C Bonnet. Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy [R/OL]. (2007-3-26) [2009-5-03]. www.eurecom.fr/util/pubdownload.fr.htm?id=1951/.
- [9] A Rojas, P Branch, G Armitage. Experimental Validation of the Random Waypoint Mobility Model through a Real World Mobility Trace for Large Geographical Areas [C]// Proceeding of the 8th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, Montreal, Canada, 2005. USA: ACM: 110-106.
- [10] T Camp, Jeff Boleng, V Davies. A survey of mobility models for Ad Hoc Network research [J]. Wireless Communications and Mobile Computing (S1530-8677), 2002, 2(5): 483-502.
- [11] F Bai, N Sadagopan, A Helmy. The IMPORTANT Framework for Analyzing the Impact of Mobility on Performance of Routing Protocols for Adhoc Networks [J]. Elsevier Ad Hoc Networks (S1570-8705), 2003, 1(4): 383-403.
- [12] D B J Amit Kumar Saha. Modeling Mobility for Vehicular Ad-hoc Networks [C]// Proceeding of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, Philadelphia, PA, USA. USA: ACM, 2004: 91-92.
- [13] N Potnis, A Mahajan. Mobility Models for Vehicular Ad Hoc Network Simulations [C]// Proceedings of ACMSE, Melbourne, Florida, USA, 2006. USA: ACMSE, 2006: 746-747.
- [14] D R Chones, F E Bustamante. An Integrated Mobility and Traffic Model for Vehicular Wireless Networks [C]// Proceeding of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, Cologne, Germany, 2005. USA: ACM, 2005: 69-78.
- [15] J Härr, F Fethi, C Bonnet. Vehicular Mobility Simulation for VANETs [C]// Proceeding of the 40th IEEE Annual Simulation Symposium, Norfolk, NY, USA, 2007. USA: IEEE, 2007: 105-109.
- [16] F K Karnadi, Z H Mo, K Lan. Rapid Generation of Realistic Mobility Models for Vanet [C]// Proceeding of Wireless Communications and Networking, 2007, Kowloon, Hong Kong, China. USA: IEEE, 2007: 2506-2511.
- [17] H Wu, J Lee, M Hunter, R M Fujimoto, R L Guensler, J Ko. Efficiency of Simulated Vehicle-to-Vehicle Message Propagation in Atlanta, Georgia, I-75Corridor [J]. Journals of Transportation Research Board (S0631-1981), 2005, 19(10): 82-89.
- [18] D B Rehunathan, B C Seet, T Luong. Federating of MITSIMLab and NS-2 for Realistic Vehicular Network Simulation. [C]// Proceedings of the 4th international conference on mobile technology, applications, and systems and the 1st international symposium on Computer human interaction in mobile technology, Singapore, 2007, Singapore. USA: ACM, 2007: 62-67.
- [19] C Schroth, F Dotzer, T Kosch, B Ostermaier, M Strassberger, Simulating the Traffic Effects of Vehicle-to-Vehicle Messaging Systems [C]// Proceeding of the 5th International Conference on ITS Telecommunications, Brest, France, 2005. Brest, France: LIAMA, 2005: 63-68.
- [20] Michal Piorkowski, Maxim Raya, Ada Lezama Lugo, Panos Papadimitratos, Matthias Grossglauser, Jean-Pierre Hubaux. TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs [J]. Journals of ACM Mobile Computing and Communications Review: (S1559-1662), 2008, 12(1): 31-33.
- [21] C Sommer, Z Yao, R German, F Dressler. Simulating the influence of IVC on Road Traffic Using Bi-directionally Coupled Simulators. [C]// Proceedings of 27th IEEE Conference on Mobile Networking for Vehicular Environments, Phoenix AZ, USA, 2008. USA: IEEE, 2008: 1-6.
- [22] Axel Wegener, Michal Piorkowski, Maxim Raya, Horst Hellbrück, Stefan Fischer, Jean-Pierre Hubaux. TraCI: An Interface for Coupling Road Traffic and Network Simulators [C]// Proceedings of 11th Communications and Networking Simulation Symposium, Ottawa, Canada, 2008. Norfolk, USA: ACM, 2008: 155-163.

3.3 综合威胁度的生成

从图 4 中可以看出,在同一高度上,综合威胁度类似一个门函数的图像,即在离拦截阵地较远或很近的地方,威胁值较低,而在中间区域都比较高,可以理解为进攻导弹在中段飞行时遇到的防御方威胁较大。其原因一方面是因为此时进攻弹已进入防御方探测系统的作用范围,很容易被发现,并且指控系统有充分的时间进行拦截决策;另一方面是因为这些区域处于拦截弹杀伤区的最佳杀伤范围。图 4 中个别区域威胁值出现的抖动是由于该位置的大气状况导致的(它会影响指控系统的通信信道干扰因子的大小)。

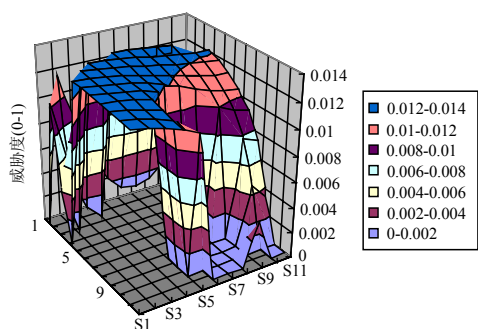


图 4 综合威胁指数

以同样方法可以生成不同高度上空间各点的相对威胁值,从而为下一步的航迹搜索建立搜索空间。将威胁度作为代价函数,搜索生成的航迹满足各段代价(威胁度)之和最小。

4 结论

基于指数法的航迹规划威胁态势建模方法将定量计算(武器系统性能参数值)和定性分析(非结构化的幂指数确定方法)相结合,既保证了威胁度计算的有效性,又避免了采用诸如概率等方法计算威胁度所带来的复杂性。实验表明,

基于指数法的威胁度计算,算法简洁,运行速度快。在攻防对抗仿真评估之前,未得到仿真数据的情况下,基于该方法所生成的威胁态势空间,仍能够支持对空间威胁度相对大小的正确表征。并且,指数法本身的特点决定了其支持对多种拦截系统效能进行分析比较,为进一步研究面向导弹航迹规划空间威胁度计算的多层次反导系统联合作战效能分析提供了可扩展的空间。

虽然,基于指数法的计算不能给出描述威胁大小的精确数值,但是在本项研究中,初始态势图的生成主要用于缩减规划空间,为导弹安全突防路线选择提供依据。在此之后,还需要通过实验设计选点、搜索算法局部寻优以及攻防对抗仿真对导弹航迹进行评估筛选。因此,我们无需在航迹规划初期就生成十分精确的威胁空间,从而带来不必要的计算代价。基于指数法的威胁建模很好的满足了本项研究的需求。

参考文献:

- [1] 胡晓磊, 胡朝晖, 江洋溢. 基于 Dijkstra 算法的水平航迹规划[J]. 火力与指挥控制, 2004, 29(4): 86-88.
- [2] 何珮. 低空突防航迹规划方法研究[D]. 北京航空航天大学, 2003.
- [3] Zengin Ugur, Dogan Atilla. Probabilistic Trajectory Planning for UAVs in Dynamic Environments [C]// 2004, AIAA 3rd "Unmanned Unlimited" Technical Conference. USA: Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Texas, 2004.
- [4] 孙汉昌, 朱华勇. 基于概率地图方法的无人机路径规划研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11): 3050-3053.
- [5] 郑昌文. 飞行器航迹规划方法研究[D]. 华中科技大学, 2003.
- [6] Shannon Twigg, Anthony Calise, Eric Johnson. On-Line Trajectory Optimization Including Moving Threats and Targets [C]// 2004, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.
- [7] 吴金平, 缪旭东. 建模与仿真中“权”的确定方法浅析[C]// 第六届全国青年管理科学与系统科学学术会议论文集. 大连: 海军大连舰艇学院, 2001: 277-280.
- [8] (上接第5335页)
- [23] S Y Wang, C L Chou. NCTUns Tool for Wireless Vehicular Communication Network Researches [J]. Simulation Modelling Practice and Theory of Elsevier (S1389-1286), 2009, 31(2): 105-116.
- [24] L Bononi, M D Feilice, G D Angelo, M Bracuto, L Donatiello. MoVES: A Framework for Parallel and Distributed Simulation of Wireless Vehicular Ad Hoc Networks [J]. Computer Networks of Elsevier (S1389-1286), 2008, 52(1): 155-179.
- [25] C Gorgorin, V Gradinescu, R Diaconescu, V Cristea, L Ifode. An Integrated Vehicular and Network Simulator for Vehicular Ad-Hoc Networks [C]// Proceedings of the 20th European Simulation and Modelling Conference, Toulouse, France, 2006. Toulouse, France: InderScience, 2006: 31-38.
- [26] E Alba, S Luna, J Toutouh. Accuracy and Efficiency in Simulating VANETs [C]// Proceedings of the 2th International Conference on Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences, Metz, France, 2008. Metz, Springer, 2008: 568-578.
- [27] C Lochert, M Caliskan, B Scheuermann, A Barthels, ACervantes, M Mauve. Multiple Simulator Interlinking Environment for Inter Vehicle Communication [C]// Proceedings of the Second ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, Cologne, Germany, 2005. Cologne, Germany: ACM, 2005: 87-88.
- [28] V Rama, O Kentaro, C Clay, Koch. Automesh: Flexible Simulation Framework for Vehicular Communication [C]// Proceedings of workshops of the 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, San Jose, CA, USA, 2006. San Jose, USA: IEEE, 2006: 1-6.
- [29] R Mangharam, D S Weller, R Rajkumar. GrooveNet: A Hybrid Simulator for Vehicle-to-Vehicle Networks [C]// Proceedings of the 3th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, Invited Paper, San Jose, CA, USA, 2006. San Jose, USA: IEEE, 2006: 6-8.
- [30] B Schuenemann, K Massow, I Radusch. Realistic Simulation of Vehicular Communication and Vehicle-2-X Applications [C]// Proceedings of the 1st international Conference on Simulation Tools and Techniques For Communications, Networks and Systems & Workshops, Marseille, France, 2008. Marseille, France: ACM, 2008: 1-9.
- [31] IEEE 802.11p/D3.0: Draft Standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan are networks-Specific requirements-Part 11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications [S]. USA: IEEE Standards Activities Department, July 2007.
- [32] R Mangharam, S Weller, D Stancil, et al. GrooveSim: A Topography-Accurate Simulator for Geographic Routing in Vehicular Networks [C]// Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, Cologne, Germany, 2005. USA: ACM, 2005: 59-68.