

文章编号:1671-1637(2014)03-0111-09

车路协同系统信息交互仿真方法

蔡伯根¹,王丛丛¹,上官伟^{1,2},张树忠¹

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院,北京 100044; 2. 北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室,北京 100044)

摘要:为提高车路协同系统信息交互网络通信质量,在规定延时范围内实现数据的准确交互,构建了基于OPNET的车路协同系统信息交互平台。研究了多种车辆自组织网络路由协议,应用最小距离路由竞争机制设计了基于车辆位置的分簇路由协议优化方法。基于OPNET对基于车辆位置的分簇优化路由协议和传统的路由协议进行仿真对比,分析了不同路由协议对车路协同系统通信性能的影响。对DCF和PCF两种不同的信道接入协议进行仿真比较。仿真结果表明:基于车辆位置的分簇路由协议中簇头变化率为 $1.47 \text{ 次} \cdot \text{s}^{-1}$;在信息延时方面,较AODV、DSR分别减少18.92%、26.90%,较基于最高节点度和基于ID的分簇路由协议分别减少14.20%、21.54%;在网络负载方面,较AODV、DSR分别减少20.83%、22.92%;PCF较DCF信道接入协议延时效果优越,延时减少了约29.60%。

关键词:交通工程;车路协同系统;分簇路由协议;信息交互;信道接入协议;OPNET 仿真

中图分类号:U283.2

文献标志码:A

Simulation method of information interaction in CVIS

CAI Bai-gen¹, WANG Cong-cong¹, SHANGGUAN Wei^{1,2}, ZHANG Shu-zhong¹

(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to improve the communication quality of information interaction network in cooperative vehicle infrastructure system (CVIS), and realize accurate information interaction within the limited range of time delay, the information interaction platform of CVIS was constructed based on OPNET. Different kinds of vehicular ad hoc network routing protocols were studied, and the optimized method of cluster-based routing protocol based on vehicle position was designed by using the minimum distance routing competition mechanism. The simulation results of the optimized cluster-based routing protocol based on vehicle location and the traditional routing protocol were compared based on OPNET, and the influences of different routing protocols on the communication performances of CVIS were analyzed. At the same time, two types of channel access protocols including DCF and PCF were simulated and compared. Simulation result indicates that the cluster-header change rate of cluster-based routing protocol based on vehicle position is $1.47 \text{ times} \cdot \text{s}^{-1}$. The time delays of cluster-based routing protocol based on vehicle position respectively reduce by 18.92% and 26.90% compared to AODV and DSR, and respectively reduce by 14.20% and 21.54% compared to cluster-based routing protocol

收稿日期:2013-12-09

基金项目:国家863计划项目(2011AA110405);国家自然科学基金项目(61104162,61273089);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2012JBZ009,2013JBM007)

作者简介:蔡伯根(1966-),男,江苏如皋人,北京交通大学教授,工学博士,从事交通信息工程、导航制导与控制研究。

based on the highest degree and node ID. The network loads of proposed cluster-based routing protocol respectively reduce by 20.83% and 22.92% compared to AODV and DSR. The channel access protocol of PCF performs better than DCF by 29.60% in the aspect of time delay. 4 tabs, 13 figs, 16 refs.

Key words: traffic engineering; cooperative vehicle infrastructure system; cluster-based routing protocol; information interaction; channel access protocol; OPNET simulation

Author resume: CAI Bai-gen(1966-), male, professor, PhD, +86-10-51687111, bgcai@bjtu.edu.cn.

0 引 言

车辆自组织网络(Vehicular Ad Hoc Network, VANET)是车路协同系统(Cooperative Vehicle Infrastructure System, CVIS)安全信息分发的主要方式^[1-2]。信息交互过程是车路协同系统中重要的组成部分,通信的质量直接影响行车策略制定与行车安全。针对 VANET 的不稳定拓扑结构等特点,传统的 VANET 最常用的信息传送方式为泛洪,泛洪的方式易于实现,而且在拓扑结构不断动态变化的情况下,能够有效地将信息传递到目的节点。然而泛洪广播过程中,很多节点不必要地参加了信息的转发,增加了节点的计算负担和网络的传输负担,容易造成信息爆炸,降低网络传输效率^[3-5]。

良好的路由协议对于整个信息交互系统也是至关重要的。由于 VANET 的复杂性与信息爆炸等问题,国内外学者积极开展了关于 VANET 路由协议算法的研究:Toutouh 等将智能粒子算法、蚁群算法等加入到最优化链路状态路由协议,通过大量真实的试验场景进行评估,发现优化后的协议能够提供更好的性能^[6];Khokhar 等提出了一种基于最优化设计的车辆自组织网络自选举分簇算法,使用车载设备与其他节点进行通信,采用最优化算法评价通信指标,将车辆节点合理分割到不同的分组^[7];周连科等提出了一种基于综合权值的 VANET 分簇广播协议,综合考虑了车辆节点的交通特性,以产生适合 VANET 交通场景下的稳定分簇结构^[8];Rawashdeh 等通过研究高速公路环境下车辆相对速度差进行车辆自组织网络稳定簇的划分,同时选取簇头,提高了簇的稳定度^[9];Cheng 等结合元胞自动机和车辆对不同交互信息的兴趣程度,提出了 VANET 分群算法^[10]。

以上研究方法均未能充分考虑车辆自身地理位置与道路信息,不能直接与交通场景信息进行动态匹配。为寻找更优的路由协议和信道接入协议,本文通过分析车路协同的信息交互特点,结合

VANET 的需求与多跳、自组织、无中心等特点,提出了基于车辆位置的分簇路由协议优化算法,并进行仿真测试,着重分析了网络负载与信号延时等参数对车路协同系统性能的影响,并传统移动车辆自组织网络的路由协议进行比较,同时,对比不同信道接入协议对车辆自组织网络通信的影响,完成车路协同信息交互仿真。

1 车路协同信息交互仿真平台构建

车路协同信息交互建模可以为实际的车路协同系统技术的研究提供良好的技术和策略支持。车路协同系统信息交互过程见图 1。

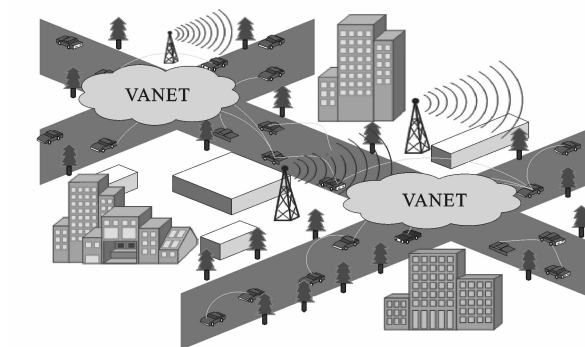


图 1 车路协同系统信息交互

Fig. 1 Information interaction of CVIS

本文车路协同仿真系统是基于高层体系结构(High Level Architecture, HLA)搭建的。HLA 是一种分布式的开放性体系结构^[11],通过运行支撑环境(Run Time Infrastructure, RTI)实现仿真管理器、测试案例管理、Paramics 交通仿真、信息交互仿真、三维视景仿真等联邦成员之间的交互,将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层通信分开,降低复杂系统仿真的复杂性,并实现组件间的相互独立性。车路协同系统中的信息交互仿真主要研究车车、车路之间的交通信息传播问题。本文中信息交互环节依托 OPNET 网络仿真软件,对 Paramics 产生的交通流所构成的 VANET 进行模拟再现,系统仿真场景为以河北省廊坊市清华科学研究院为中心的路

网,车辆和路侧节点的交通流信息由 Paramics 产生,在 OPNET 的仿真场景中进行信息交互仿真。车路协同仿真系统联邦成员信息交互流程见图 2。

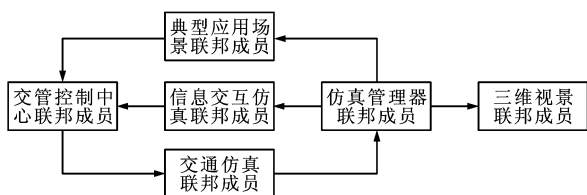


图2 信息交互流程

Fig. 2 Process of information interaction

1.1 OPNET 网络仿真机制

OPNET 采用离散事件驱动的模拟机理,通过事件驱动器以先进先出的方式对事件和事件时间列表进行维护,每当有一个事件出现后,仿真时间推进,仿真中各个模块之间通过事件中断方式传递事件信息。与时间驱动相比,这种机制的计算效率更高^[12]。

事件是指网络状态的变化,本文中 OPNET 内部仿真节点的事件主要由维持路由协议的自中断事件与 HLA 接口发送的车辆信息流中断组成。在车路协同系统中 VANET 主要由以下 3 层建模机制组成。

(1)网络层。网络层为主要由车辆节点和路侧设备构成的移动自组织网络拓扑结构,所有节点集合由其初始位置形成初始网络拓扑结构。

(2)节点层。OPNET 节点模型库中有 Manet 节点,其拥有描述交通网络特性与节点信息的多种属性,为不同的网络协议仿真提供接口。HLA_interface 节点也相应地提供 HLA 接口。

(3)进程层。在进程层完成 Manet 节点的事件处理过程,即在进程层完成车辆信息的转发、路由选择、行为决策与通信性能指标统计反馈等行为的具体实现。

1.2 信息交互仿真时间管理

OPNET 仿真机制拥有良好的时间管理策略,HLA 体系架构需要维护全局的时间逻辑正确性,因此,HLA 定义联邦成员的时间管理策略分为时间控制和时间受限 2 种。在本文仿真系统中,OPNET 采用仅时间受限的管理策略,即 OPNET 联邦成员时间推进受其他联邦成员影响,而自身并不影响其他联邦成员时间推进。根据车路协同仿真系统需求,系统仿真周期为 500 ms,也就是说各个联邦成员每 500 ms 更新一次数据,由于 OPNET 软件自身开发的局限性,需要设计基于车路协同的信息交互中转软件对联邦时间进行推进。

1.3 OPNET 建模接口设计

HLA 采用“Publish/Subscribe”的声明管理机制来控制联邦成员的信息交互。HLA 中数据以交互类和对象类 2 种形式存在,各联邦成员只需订购自己感兴趣的数据信息,发布自身声明或者其他联邦成员所需的交互类或对象类信息^[13]。

本文要求在 OPNET 仿真环境中的数据具有时间标记性,因此,采用交互类与其他联邦成员进行通信。交互类中的参数是用于说明联邦成员间进行数据交互的命名数据。而在 Paramics 与仿真管理器中的数据都是以对象类的属性形式长期存在的,因此,上文中提到的信息交互中转软件还应该完成车路协同信息由对象类到交互类的转换,并且能够将数据存放到数据库中以便查询并回放数据包具体信息。

在 OPNET/HLA 结构中,HLA 的交互类参数对应 OPNET 中数据包的属性,本文中车辆与路侧信息对应关系在联邦 Fed 文件与 OPNET 的 Map 文件中进行了详细说明,具体对应关系见表 1,其中左列为 Fed 文件中声明的交互类属性,右列为 Map 文件中与交互类对应的 OPNET 数据包参数。

表1 交互类属性与数据包参数

Tab. 1 Interactions attributes and parameters of data packet

交互类属性	数据包参数
sim_time	parameter sim_time
info_type	parameter info_type
veh_type	parameter veh_type
vehicle_ID	parameter vehicle_ID
latitude	parameter latitude
longitude	parameter longitude
velocity	parameter velocity
veh_failure	parameter veh_failure
veh_avoid	parameter veh_avoid
distance	parameter distance
lane	parameter lane
acc_vertical	parameter acc_vertical
acc_horizontal	parameter acc_horizontal
headlights	parameter headlights
preceding_veh	parameter preceding_veh
following_veh	parameter following_veh
destination	parameter destination

1.4 OPNET 模型节点构建

根据车路协同系统信息交互过程的特殊性,选取 OPNET 模型库中的 Manet 模型作为车辆和路侧设备进行仿真试验。除此之外,由于整个系统是基于 HLA 平台的,所以还应加入 HLA_interface 节点。另外,也应加入用于控制车辆广播信息距离

控制的广播距离控制节点。

作为 VANET 中的主要信息载体, Manet 节点的设计对整个网络环境仿真起到决定性作用。车辆信息从 WLAN 收信机进入, 如实线箭头所示, 经过 MAC 层、IP 层、UDP 层、路由层、应用层, 然后经虚线箭头逆向传输, 由 WLAN 发信机传出。Manet 节点内部进程模型见图 3。

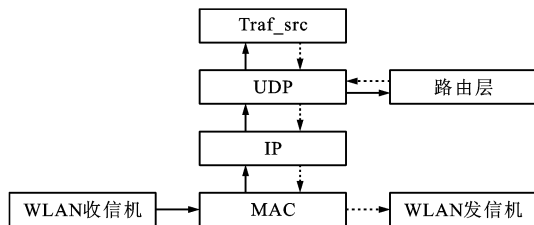


图 3 Manet 节点内部进程模型

Fig. 3 Internal process model of manet node

对信息进行处理 Traf_src 进程模型状态转移过程见图 4, 实线箭头描述了状态机转移方向。如图 4 中虚线所示, 该进程模型中的 Dispatch 状态有自中断和数据流中断 2 种条件转移中断事件及其对应的处理函数, 分别用于信息转发和接收 HLA 节点信息。

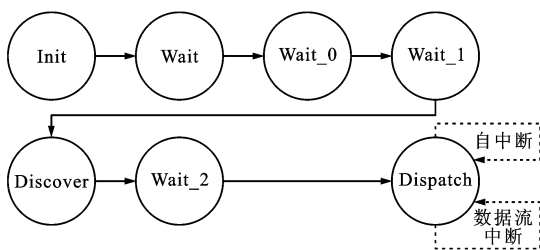


图 4 Traf_src 进程模型内部状态机

Fig. 4 Internal state machines of traf_src process model

1.5 车路协同系统的信道接入协议

传统车辆自组织网络是基于 IEEE802.11 协议的, 信道接入协议有分布式访问控制方式 (Distributed Coordination Function, DCF) 和中心网络控制方式 (Point Coordination Function, PCF) 2 种^[14]。

DCF 主要基本接入机制与请求发送机制 2 种方法进行帧的传输^[15-16]。DCF 协议的 2 个特征是基于分布式竞争公共媒介和采用带冲突检测的载波监听多路访问技术。

PCF 是一种可选优先级的无竞争的介质访问方法, 它在 DCF 的基础上, 采用轮询方式由中心控制器向各个站点发送数据帧, 中心控制器管理所有节点。

1.6 Manet 节点路由协议

Manet 节点路由协议主要分为表驱动路由协议

和按需路由协议 2 种: 在表驱动路由协议中, 无论是否有通信需求, 每个节点维护一个包含到达其他节点的路由信息的路由表, 同时采用周期性的路由分组广播, 交换路由信息; 按需路由协议包括路由发现和路由维护 2 个过程, 当有节点需要发送数据时, 路由发现过程被激活, 节点采用泛洪的方式, 向整个 VANET 网络广播路由请求分组, 该路由协议可以降低路由开销, 提高网络吞吐量。

OPNET 中的 Manet 节点模型提供了多种成熟的路由协议, 包括按需距离向量路由 (Ad Hoc on Demand Distance Vector, AODV)、动态源路由 (Dynamic Source Routing, DSR) 与地理路由 (Geographic Routing Protocol, GRP) 等。

2 基于车辆位置的 VANET 分簇优化路由协议

为解决信息爆炸问题, 同时提升网络性能, 通过对车路协同系统实际仿真场景特点的研究, 本文结合车路协同系统特性与车辆位置信息, 充分利用车辆路径规划信息, 提出一种基于车辆位置信息的分簇路由协议优化方法, 并对其进行仿真试验分析, 最后与其他路由协议进行比较。

2.1 基于车辆位置的分簇优化算法

车路协同系统所构成的 VANET 网络为一种特殊的多跳移动网络, 有平面结构和分级结构 2 种, 而分级结构通常是通过将区域内的车辆节点划分成若干个簇而构成簇结构, 每个簇由一个簇头和若干普通节点构成。通过分簇结构可以提高网络的扩充性, 减小路由和控制开销, 并且减少共享相同信道的节点数目, 从而降低碰撞效率。

传统的分簇算法根据簇头选举的方式与优化目标的不同主要有基于节点 ID 分簇算法和基于最高节点度分簇算法: 基于节点 ID 分簇算法选举邻居节点中 ID 最高的节点为簇头, 其允许有多个簇头, 加入次高 ID 未在最高 ID 覆盖范围内, 则亦成为簇头; 基于最高节点度分簇算法借鉴 Internet 中路由节点选择方法, 每个节点通过交互控制信息来获得邻居节点的数目, 然后向邻居广播自身节点度, 选举节点度最高的节点作为簇头。在下文中将通过 OPNET 对基于车辆位置的分簇优化算法与上述 2 种分簇算法进行仿真, 比较其稳定性与对系统通信性能的影响。

本文假定车辆节点通过 OPNET 获得所有车辆信息且具有自主导航和交通信息处理决策的能力。基于车辆位置的分簇优化算法以复杂的十字路口

与周围地区为例进行分析,包含了直行道路与交叉口交通信息交互的情况。

在描述具体算法之前,先描述其前提条件。每个车辆节点拥有自身唯一的 User ID,通过 User ID 识别邻居节点和目的节点。本文试验场景为河北省廊坊市某十字交叉路口周围区域,场景北、南、西、东 4 个方向边界的经纬度坐标分别为 $(116.72^\circ, 39.59^\circ)$ 、 $(116.76^\circ, 39.59^\circ)$ 、 $(116.72^\circ, 39.57^\circ)$ 、 $(116.76^\circ, 39.57^\circ)$,交叉口位置为 $(116.74^\circ, 39.58^\circ)$ 。

基于车辆位置的分簇优化路由算法步骤如下。

Step 1:定义车辆节点集合为 V ,分簇的原则是以十字交叉路口为基准,各方向道路中的车辆节点拥有与所在道路相匹配的标志位,北、南、西、东 4 个方向分别定义为 1、2、3、4,此分类对所有路口均适用。各方向的车辆节点集合分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 ,且 $V=C_1 \cup C_2 \cup C_3 \cup C_4$,具体分类见图 5。

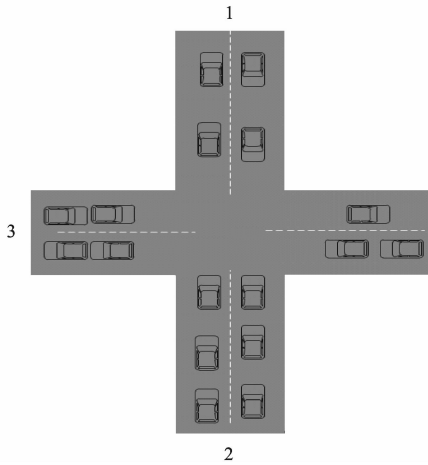


图5 车辆节点集合分类

Fig. 5 Classification of vehicles node collections

Step 2:根据道路静态地理范围数据与车辆经纬度坐标,判断车辆节点所属的道路。上文中已经提到场景经纬度边界与交叉路口经纬度坐标,只需进行简单的判断即可得到车辆所属的道路,路侧节点亦是如此。例如,设某车辆的经纬度坐标为 (x, y) ,当满足 $116.72^\circ < x < 116.74^\circ$ 时,车辆属于 C_3 ,当满足 $39.57^\circ < y < 39.58^\circ$ 时,车辆属于 C_2 。

对于处于交叉路口的车辆,由于其行驶方向的不确定性,暂时不作考虑,500 ms 后再作判断,直至车辆驶出路口,再加入所进入道路的节点集合。

Step 3:确定车辆所属道路后,对各道路的车辆节点进行详细分簇。假定每个簇为正方形,互不重叠且大小相等,簇内暂时不存在簇头,节点的通信范围等于正方形簇的对角线,目的是使簇内节点可以单跳进行通信。对经纬度坐标为 (x, y) 的车辆来

说,可以根据下式确定该车辆节点所在的簇

$$\begin{cases} x^c = \text{INT} \left\{ \sqrt{2} F[(x, y), (116.73^\circ, y)] / r + 0.5 \right\} \\ y^c = \text{INT} \left\{ \sqrt{2} F[(x, y), (x, 39.58^\circ)] / r + 0.5 \right\} \end{cases} \quad (1)$$

式中: (x^c, y^c) 为经纬度坐标为 (x, y) 的车辆节点所在的簇; r 为通信距离,本文中为 400 m; $F(\cdot)$ 为经纬度坐标差与距离的转换函数。

通过上述分簇方法得到的分簇结构见表 2,表中的坐标轴原点 $(0, 0)$ 位置为十字交叉路口。

表2 分簇结构

Tab. 2 Clustering structures

$(-2, 2)$	$(-1, 2)$	$(0, 2)$	$(1, 2)$	$(2, 2)$
$(-2, 1)$	$(-1, 1)$	$(0, 1)$	$(1, 1)$	$(2, 1)$
$(-2, 0)$	$(-1, 0)$	$(0, 0)$	$(1, 0)$	$(2, 0)$
$(-2, -1)$	$(-1, -1)$	$(0, -1)$	$(1, -1)$	$(2, -1)$
$(-2, -2)$	$(-1, -2)$	$(0, -2)$	$(1, -2)$	$(2, -2)$

Step 4:簇头的确定。一个簇的簇头数目大于 1,有上述分簇方法,簇内节点可以直接通信,即通信跳数为 1。由于 OPNET 仿真环境中每个车辆节点均可以接受所有车辆的信息,所以可以根据簇内所有车辆数据选择簇头。假定本地某簇中的邻居节点数目为 n ,节点 i 的经纬度坐标为 (x_i, y_i) ,那么可以得到该节点的质心 (Z_1, Z_2) 为

$$\begin{cases} Z_1 = \sum x_i / n \\ Z_2 = \sum y_i / n \end{cases} \quad (2)$$

然后选择离质心最近的节点作为本簇的簇头,因为质心到簇内各节点的距离之和是最短的,采用此种方法可以减少簇头与簇内节点直接通信的成本。通过以上步骤初步确定车路协同车辆自组织网络的簇拓扑结构。

2.2 基于车辆位置的分簇优化路由协议

为提高通信效率,在分簇优化算法的基础上,结合车辆地理位置信息,提出了与车路协同系统相适应的自组织路由策略。

位置辅助路由协议(Location Arid Routing, LAR)应用广泛。下文中的路由协议在 LAR 中规定 RREQ 分组携带目标节点和距离参数的机制的基础上,结合实际交通系统中的信息传递特点进行优化。首先介绍基于最小距离的路由竞争机制,其通过周期性转发路由请求分组 RREQ 来实现,方法流程如下。

Step 1:假定源节点 S 和目的节点 D 的经纬度坐标分别为 (x_s, y_s) 、 (x_d, y_d) ,将经纬度坐标转换为源

节点到目的节点的距离 D_S 且加入到 RREQ 列表中

$$D_S = F[(x_S, y_S), (x_D, y_D)] \quad (3)$$

Step 2: 当节点 i 收到 RREQ 时, 计算节点 i 到 (x_D, y_D) 的距离 D_i , 对于给定的权值系数 δ , 如果 $D_S + \delta \geq D_i$, 则节点 i 向其临界点转发 RREQ, 并在 RREQ 分组中重新标记 (x_D, y_D) 和 D_i (用 D_i 代替 D_S), 并将此次更新存放到路由列表 R 中。

Step 3: 如果 $D_S + \delta < D_i$, 则节点 i 丢弃该 RREQ 分组。

Step 4: 当路由列表 R 中存在多条可行路径时, 选择距离目的节点最短的那一条。如果此路径被突然中断, 则选择次短路径, 依次类推。

基于最小距离的路由竞争机制见图 6。由于节点 N 到目的节点 D 的距离 D_N 满足 $D_S + \delta \geq D_N$, 而节点 M 到目的节点距离 D_M 不满足 $D_S + \delta \geq D_M$, 源节点 S 将节点 N 加入路由表中, 而摒弃节点 M 。

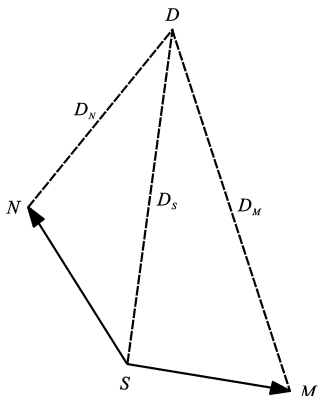


图 6 基于距离的路由竞争机制

Fig. 6 Routing competition mechanism based on distances

权值系数 δ 与道路车辆数有关, 综合考虑试验路段特点和多次试验的结果, 给出合理的经验值。随着路段车辆数增加, 导致车辆间隔减小, 仅给出路段车辆数与 δ 的关系, 见表 3。

表 3 车辆数与 δ 的关系

Tab. 3 Relationship between vehicle number and δ

路段车辆数/veh	δ/m
100	60
200	50
300	35
500	20
800	12
1 000	8

仿真场景车辆数为 500 veh, OPNET 仿真环境中 δ 取 20 m。结合上述路由竞争机制得到基于车辆位置的分簇优化路由协议过程如下。

Step 1: 确定目的节点位置。本步骤的主要任

务是确定目的节点所处的道路, 即所属 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 集合的判断, 如果遍历 4 种集合后未发现目的节点, 则该目的节点位于交叉路口, 暂时不发送消息, 路由列表为空。

Step 2: 簇间路由控制由分簇过程中选举出的簇头负责协调本簇内的路由, 由簇头完成与外界其他簇的首次通信。簇头有 2 个路由列表 L_1 与 L_2 , 其中路由列表 L_2 负责簇间路由, 路由列表 L_1 负责簇内路由, 将所有簇当做若干由簇头代表的质点, 然后采用距离竞争机制获得簇间传递最佳路由, 并将路由结果加入到路由列表 L_2 中。

Step 3: 判断簇节点移动趋势, 分析计算簇中每个车辆节点的移动方向, 通过 2 次信息更新周期内车辆地理信息变化趋势, 判断出车辆的运行方向, 然后在 OPNET 中为 Manet 节点自定义属性 Direction, 进行赋值。

Step 4: 簇内节点间路由与簇间路由类似, 只是目的节点为簇间节点路由发现的最优的邻居簇中的簇头。但是在此之前需要判断车辆运行方向, 剔除与信息传播方向相反的车辆节点。设本簇簇头的经纬度坐标为 (x_1, y_1) , 本簇内其他节点为 (x_2, y_2) , 最优邻居簇头坐标为 (x_3, y_3) , 本文引入向量的概念, (x_1, y_1) 到 (x_2, y_2) 再到 (x_3, y_3) 构成的向量夹角小于 90° 时, 舍弃 (x_2, y_2) , 大于 90° 时, 将 (x_2, y_2) 加入到路由列表 L_1 中。

Step 5: 目的节点回执, 当目的节点 (x_D, y_D) 收到源节点 (x_S, y_S) 发送的信息时, 按路由列表 L_1 、 L_2 返回回执命令, 并且保存路由列表 L_1 、 L_2 , 同时停止信息广播。

基于最小距离的竞争机制与分簇优化路由协议流程图见图 7。

3 仿真结果分析

针对基于车辆位置的分簇优化路由协议, 在 OPNET 中构建以河北省廊坊市清华科学研究院为中心的若干路口构成的路网进行仿真。通过 OPNET 仿真, 比较本文分簇优化路由协议与传统分簇路由协议的性能差别。仿真车辆数为 500 veh, 路侧设备为 10 台, 交通流数据更新周期为 500 ms, 仿真总时间为 10 min。

3.1 基于车辆位置的分簇优化路由协议仿真

路由协议存在的意义是为源节点和目的节点的信息交互开辟一条捷径, 在 500 ms 内的数据更新周期内, 路网信息交互延时、网络负载与丢包率是评价

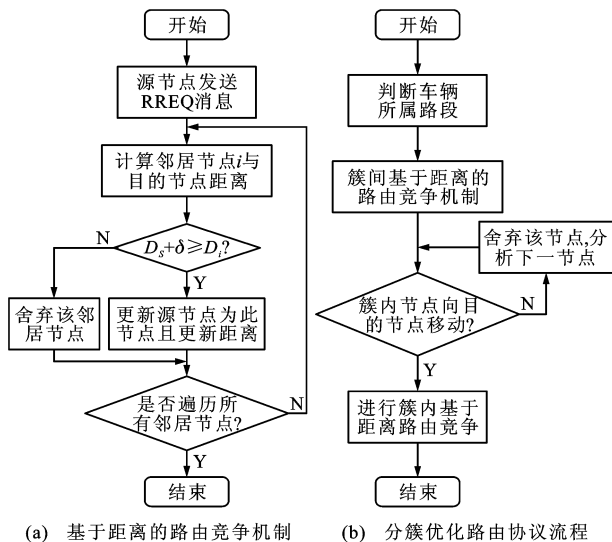


图7 分簇路由协议流程

Fig. 7 Flow of cluster-based routing protocol

通信质量的重要指标。在 OPNET 中定义信息交互延时、网络负载、丢包率等参数进行验证分析,其中信息延时和丢包率容易理解,网络负载是指在定额的通信速率情况下,单位时间内尚未到达目的节点的数据分组的数量,即当前占用资源的数据量。

关于信息交互延时与信息交互网络负载的仿真结果分别见图 8、9,可以看出:较传统的 AODV 和

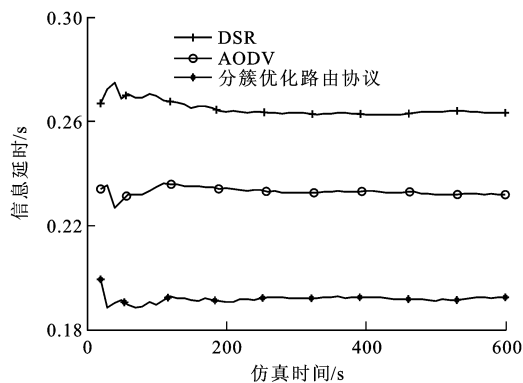


图8 不同路由协议信息延时仿真结果

Fig. 8 Simulation results of information delays of different routing protocols

DSR 路由协议,基于车辆信息的分簇优化路由协议的效果明显更好;在信息延时方面,较 AODV 和 DSR 协议分别减少了 18.92%、26.90%,维持在 193 ms 上下;在网络负载方面,较 AODV 和 DSR 协议分别改进了 20.83%、22.92%。由于系统设定完成指定额度的通信任务,在相对范围内,网络负载小说明通信效率较高,通信网络的压力不会过大。信息重发率的仿真结果见表 4,可以看出基于车辆位置的分簇优化路由协议的信息重发率较传统的路由协议也有所减少,仅为 4.80%,为交互信息开辟

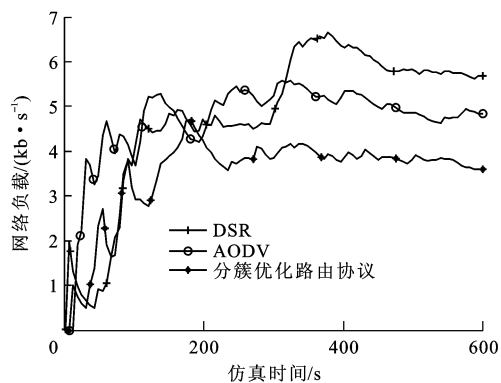


图9 信息交互网络负载仿真结果

Fig. 9 Simulation results of network load of information interaction

了一条快捷到达目的节点的路由。

表4 信息重发率比较

Tab. 4 Comparison of information retransmission rates

路由协议类型	信息重发率/%
AODV	7.80
DSR	6.50
分簇优化路由协议	4.80

通过以上仿真结果可以看出,本文分簇优化路由协议考虑了车辆的运动特性,通过分簇优化算法形成的簇合理且与交通状态相对应,避免了不必要的信息重发,抑制了信息冗余,减少了信息的重广播率,更加有效地利用了通信介质。

3.2 分簇算法性能仿真比较

簇头变化率反映了分簇算法的稳定性,定义为单位时间内簇头的变化频率。应用基于节点 ID 分簇路由协议、基于最高节点度分簇路由协议与本文基于车辆位置的分簇路由协议,对簇头变化率进行仿真,结果见图 10。

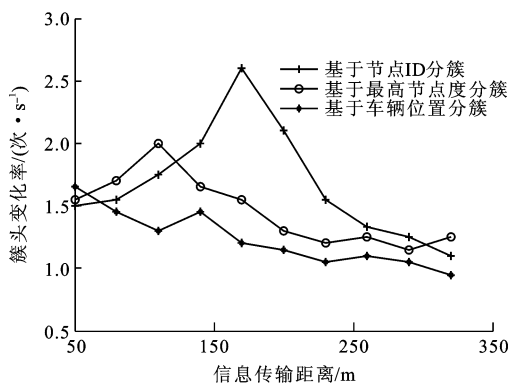


图10 簇头变化率仿真结果

Fig. 10 Simulation results of changing rates of cluster-header

由仿真结果可以看出:当传输距离较短时,节点跳数较少,网络负载远未达到饱和,各类分簇算法结果差别不大,维持在 1.5 次 \cdot s⁻¹ 左右;随着传输距

离的增大,由于通信范围的限制,基于节点 ID 和最高节点度形成的簇直接逐渐分离,可能产生一个峰值;随着传输距离的继续增大,簇内成员变化不大,由于道路结构与行驶速度的限制,簇头变化率进一步下降,且趋势趋于平稳。由于基于车辆位置的分簇优化路由算法将车辆位置、车辆运行方向、道路结构考虑进去,与本文车路协同的实际情况相适应,因此,该分簇路由协议稳定度相对较高。

分析簇头变化率的意义在于簇头变化率与车路协同系统的信息延时有直接的关系。当簇头变化时,管理簇头的路由列表需要更新,还需要广播簇头变化的信息,整个簇接收到的新信息也都要通过新的簇头重新转发,加大了系统信息交互的负担和延时。为了直观地分析不同分簇算法对车路协同信息交互延时的影响,应用不同分簇协议进行信息交互仿真,仿真结果见图 11。基于车辆位置的分簇优化路由协议的延时效果最突出,较基于最高节点度和基于节点 ID 的分簇路由协议分别减少了 14.20%、21.54%。

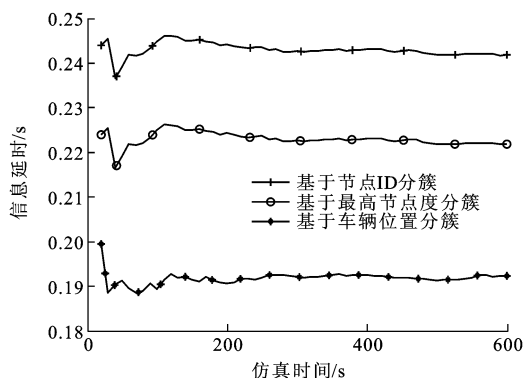


图 11 不同分簇路由协议信息延时仿真结果

Fig. 11 Simulation results of information delays of different cluster-based routing protocols

3.3 信道接入协议仿真比较

OPNET 中 Manet 节点自带 DCF、PCF 两种不同的 MAC 层信道接入协议,只需进行简单的参数设置便可进行仿真。OPNET 仿真收集的统计量包括信息延时和吞吐量 2 个参数,对路网内车辆数为 500 veh 所构成的 VANET 网络进行仿真,2 种信道接入协议的信息延时和吞吐量仿真结果分别见图 12、13。

车路协同系统要求车辆实时地获取交通信息,即实时性要求是本系统的根本目标。由图 12 可以看出,DCF 的信息延时要比 PCF 效果差,PCF 信息延时相比 DCF 减少了 29.60%,这是因为 PCF 采用无竞争中心节点调节控制技术,当信息负载越大,其优点越突出,DCF 丢包率也会随之上升。由图 13 可以看出,DCF 和 PCF 两种信道接入协议的吞吐

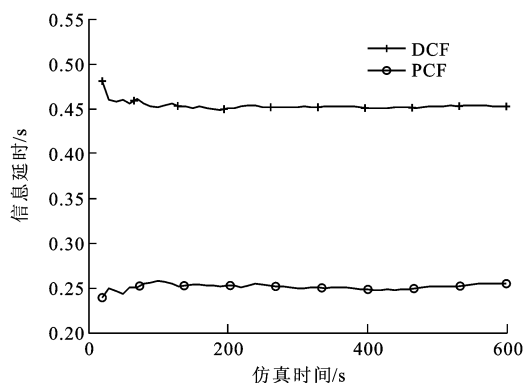


图 12 DCF、PCF 信息延时仿真结果

Fig. 12 Simulation results of information delay of DCF and PCF

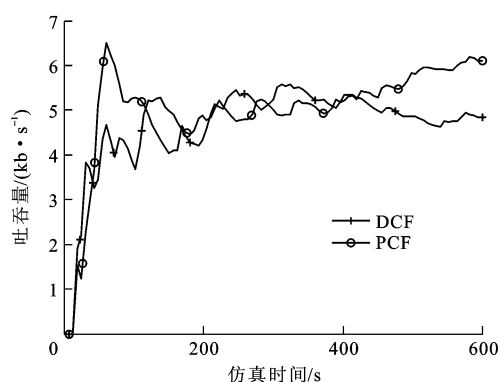


图 13 DCF、PCF 信息吞吐量仿真结果

Fig. 13 Simulation results of information throughput of DCF and PCF

量差别不大,这是由于车辆数为 500 veh 构成的路网未达到网络媒介的饱和,也不存在严重的信息爆炸问题。PCF 的缺点是需要增加额外的软硬件设备,比如路侧设备,如果将路侧设备加入通信过程,采用就近原则加入簇,完成通信辅助转发,因此,在 VANET 网络负载较少且满足实时性指标要求的情况下,完全可以采用 DCF 方式。当然,采用 PCF 方式效果更突出。

综合以上仿真结果可以看出,基于车辆位置的分簇优化路由协议与车路协同系统的路网特性相适应,且拥有稳定的簇结构,能够提供信息交互过程的各项性能指标,尤其满足系统的实时性要求,并且 PCF 信道接入协议较 DCF 协议更适合车路协同信息交互过程。

4 结 语

本文通过 OPNET 对基于 HLA 的车路协同系统中的信息交互过程进行深入研究,并且通过应用路由竞争机制的基于车辆位置的分簇优化路由协议对河北省廊坊市中心某交叉路口及其周围路段构成

的路网进行了 VANET 网络信息交互仿真。仿真结果表明较传统的信息交互过程中采用的路由协议,本文协议在延时性与网络负载方面的性能有明显提高;同时对 DCF、PCF 等不同的无线信道接入协议对信息交互过程的影响进行了仿真研究,PCF 效果更好,但成本较高。以上仿真也存在局限性,例如车路协同系统中车辆构成的多交叉口复杂通信网络的独特性,同时本文中用到的交通数据均由 Paramics 交通仿真软件生成,其随机性较大,真实性、客观性均有待考究。

本文研究为车路协同信息交互过程后续研究找到了切入点,寻找更加高效优化且紧密配合的路由协议和信道接入协议,有效防止信息爆炸问题,进一步提升通信网络性能都将是以后课题的研究重点。

参考文献:

References:

- [1] 易振国. 车路协同实验测试系统及安全控制技术研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
YI Zhen-guo. Vehicle infrastructure integration experimental testing system and safety control technology[D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)
- [2] MA Xiao-min, ZHANG Jin-song, YIN Xiao-yan, et al. Design and analysis of a robust broadcast scheme for VANET safety-related services[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(1): 46-61.
- [3] WISITPONGPHAN N, TONGUZ O K, PARIKH J S, et al. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(6): 84-94.
- [4] PANICHPAPIBOON S, PATTARA-ATIKOM W. A review of information dissemination protocols for vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2012, 14(3): 784-798.
- [5] SIKDAR B. Comparison of broadcasting schemes for infrastructure to vehicular communications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(2): 492-502.
- [6] TOUTOUH J, GARCIA-NIETO J, ALBA E. Intelligent OLSR routing protocol optimization for VANETs[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(4): 1884-1894.
- [7] KHOKHAR R H, NGADI M A, LATIFF M S, et al. Multi-criteria receiver self-election scheme for optimal packet forwarding in vehicular ad hoc networks[J]. International Journal of Computers Communication and Control, 2012, 7(5): 865-878.
- [8] 周连科,左德承,崔刚,等. 考虑节点交通特性的 VANET 分簇广播协议[J]. 高技术通讯,2012,22(5):468-476.
ZHOU Lian-ke, ZUO De-cheng, CUI Gang, et al. A node-traffic characteristics considered clustering broadcast protocol for VANETs[J]. Chinese High Technology Letters, 2012, 22(5): 468-476. (in Chinese)
- [9] RAWASHDEH Z Y, MAHMUD S M. A novel algorithm to form stable clusters in vehicular ad hoc networks on highways[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012, 2012(1): 1-13.
- [10] CHENG S T, HORNG G J, CHOU C L. Using cellular automata to form car society in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(4): 1374-1384.
- [11] 王芙蓉,姚雅倩,张帆,等. 基于 HLA 体系结构的交互式网络仿真设计[J]. 系统仿真学报,2006,18(9):2488-2491.
WANG Fu-rong, YAO Ya-qian, ZHANG Fan, et al. Inter-active network simulation technology based on the high level architecture[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(9): 2488-2491. (in Chinese)
- [12] 张永生. 基于 OPNET 的 Ad Hoc 军事通信网络的仿真[D]. 西安:西安电子科技大学,2007.
ZHANG Yong-sheng. Simulation of ad hoc military communication network based on OPNET[D]. Xi'an: Xidian University, 2007. (in Chinese)
- [13] 刘强,匡镜明,王华. 基于 HLA 的分布式军事通信网仿真[J]. 计算机工程,2006,32(12):96-98.
LIU Qiang, KUANG Jing-ming, WANG Hua. Distributed tactical communication network simulation based on HLA[J]. Computer Engineering, 2006, 32(12): 96-98. (in Chinese)
- [14] 罗维. 基于 OPNET 的 IEEE802.11 信道接入技术仿真研究[J]. 软件,2010,31(12):37-41.
LUO Wei. To simulate channel access technology of IEEE802.11 based on OPNET[J]. Computer Engineering and Software, 2010, 31(12): 37-41. (in Chinese)
- [15] 王文波. IEEE802.11 DCF 协作 MAC 接入机制研究[D]. 北京:北京邮电大学,2009.
WANG Wen-bo. The research of access mechanism in IEEE802.11 DCF[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009. (in Chinese)
- [16] LIAO Fei-xiong, ARENTZE T, TIMMERMANS H. Multi-state supernetworks: recent progress and prospects[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 13-27.