

## VANET 环境下基于历史行为的消息路由方案

刘 婧<sup>1</sup>, 王新华<sup>1,2\*</sup>, 王 朕<sup>1</sup>, 王 硕<sup>1</sup>

(1. 山东师范大学 信息科学与工程学院, 济南 250014; 2. 山东省分布式计算机软件新技术重点实验室, 济南 250014)

(\* 通信作者电子邮箱 wangxhe@sdu.edu.cn)

**摘 要:**通过分析车用自组织网络(VANET)在道路交通领域中的应用现状,根据 VANET 的特点及其消息传输过程中面临的挑战,针对以往算法较难准确进行空间建模并较少考虑社会行为的规律性特征的问题,提出了一种基于车辆历史行为统计的消息路由方案——HBSR,具体分为计算车辆之间的连通性的节点连通算法,计算源节点和目的节点间可达时段数的拓扑重叠算法,选择消息转发路径的路径选择算法和丢包策略四部分。通过在 ONE 仿真平台上将其和一些典型的路由算法进行比较,实验证明 HBSR 方案能够更有效地在 VANET 中找到消息转发路径,在送达时延明显降低的同时交付率有显著提高,并且表现相对稳定。

**关键词:**车用自组织网络;消息传播;历史行为统计;路由方案;转发路径

**中图分类号:** TN926 **文献标志码:** A

### Routing scheme for vehicle Ad Hoc network

LIU Jing<sup>1</sup>, WANG Xin-hua<sup>1,2\*</sup>, WANG Zhen<sup>1</sup>, WANG Shuo<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan Shandong 250014, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory for Distributed Computer Software Novel Technology, Jinan Shandong 250014, China)

**Abstract:** Through analyzing the application status of Vehicle Ad Hoc Network (VANET) in road transportation field, according to the characteristics of VANET and challenges in news transmission process, concerning the problems of previous algorithms being difficult to establish spatial model accurately and hardly considering the regularity characteristics of social behavior, a routing scheme named HBSR was proposed based on the historical behavior statistics of vehicles, including nodes connected algorithm calculating the connectivity between vehicles, topological overlap algorithm calculating the number of periods between the source node and destination node, paths selected algorithm selecting messages forwarding paths and loss strategy. Compared with several typical routing algorithms on ONE simulation platform, the simulation results prove that HBSR can find news forwarding paths more effectively, and reduces message delivery delay obviously while delivery rate increases significantly, and performance is relatively stable in VANET.

**Key words:** Vehicle Ad Hoc Network (VANET); news spread; historical behavior statistics; routing scheme; forwarding path

## 0 引言

车用自组织网络(Vehicle Ad Hoc Network, VANET)是指道路上车辆间、车辆与路边固定接入点之间相互通信组成的开放移动 Ad Hoc 网络。由于 VANET 在交通管理路况监测、车辆跟踪、交通安全、导航等信息传递方面表现良好,因此在智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)中担当着重要角色,成为无线自组织网络方面新的研究热点。

美国波士顿东北大学的研究人员从 600 万手机用户中随机选中 10 万名匿名手机用户作为研究对象,在半年时间内对每个人的移动轨迹进行记录。通过对记录的分析研究,他们发现研究对象的移动轨迹惊人相似,大多数人平时固定往返于几个地点。人类移动规律不仅能帮助流行病学家预测传染病的传播,有效预防传染病,它还可以为规划城市、应对紧急突发事件以及科学研究中的智能体建模提供帮助。例如,科研人员可以预测地震发生后人们的移动轨迹,以及通过对大型足球赛结束后观众移动情况的掌握来避免交通堵塞。近年来典型研究成果有:阿尔及利亚科学与技术信息研究中心的

车辆防撞系统、奔驰公司的车辆免事故系统 Thinking Partner、加州大学的城市交通监视系统 MobEyes、弗罗斯特堡州立大学的车辆防盗 SVATS<sup>[1]</sup>。

VANET 中的车辆快速移动,网络拓扑变化频繁,同时网中节点只有几百米的单跳通信范围,每个车辆都承担着收发和路由转发功能,它们采用多跳转发方式协作把数据传递给更远的车辆,因此高效、可靠的多跳路由协议是信息路由分发的关键<sup>[2]</sup>。

针对 VANET 提出的经典路由策略主要有动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)协议<sup>[3]</sup>、限制洪泛区域的 Geocast(Geographic Addressing and Routing)<sup>[4-5]</sup>、贪婪转发与周边转发相结合的 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)<sup>[6]</sup>以及对 GPSR 改进的空间感知路由(Spatial Aware Routing, SAR)协议<sup>[7]</sup>。而最近提出的以 VADD(Vehicle-Assisted Data Delivery)方案<sup>[8-9]</sup>、Delay-bounded 算法<sup>[10]</sup>、D&S(Service Deadline and Data Size)方案<sup>[11]</sup>、SADV(Static-Node Assisted Adaptive Routing Protocol)方案<sup>[12]</sup>、SPAWN(Swarming Protocol)方案<sup>[13]</sup>等较为典型。其中 Zhao 等<sup>[8]</sup>和 Jeong 等<sup>[9]</sup>

收稿日期:2011-08-08;修回日期:2011-09-22。 基金项目:山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(2010BSE14022)。

作者简介:刘婧(1987-),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向:车载网络、移动 P2P 网络;王新华(1970-),男,山东济南人,教授,博士,主要研究方向:高性能路由、路由算法;王朕(1987-),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向:DTN、社区网络;王硕(1986-),女,山东济南人,硕士研究生,主要研究方向:Ad Hoc 网络、社区网络。

针对车载 Ad Hoc 网络中的车辆辅助数据转发问题提出了一种 VADD 方案,该方案始终选择具有最低时延的数据转发路径,尽可能多地使用无线通信直接转发模式,并在实施过程中实现动态路径选择。但是由于无线信道代价较高,该方案不适合在密集城市车载网络中实施。Skordylis 等<sup>[10]</sup>对 VADD 方案做了改进,提出一种 Delay-bounded 算法,该算法在容许的时延内尽量选择车辆携带方式进行数据传输,节省了信道资源。但前面两种算法只专注于车辆之间的文件传输,并未涉及 AP (Access Point) 的设置以及其到车辆的文件传输。Zhang 等<sup>[11]</sup>针对车辆和路边 AP 的文件下载和上传问题,提出了一种兼顾服务时限和数据大小的 D&S 方案,并对该方案中服务多个请求单播策略进行了改进。Ding 等<sup>[12]</sup>提出了一种 SADV 方案,它在完全移动的车载网络中使用一些路口的固定节点来暂时存储消息,直到最佳转发路径上的车辆进入通信范围,并且定时计算相邻节点的即时通信时延来实施改变车辆稠密度的路由决策。Nandan 等<sup>[13]</sup>针对文件的协同下载提出了一种基于内容发送和共享的 SPAWN 方案,该方案利用无线内部广播特性提出了一种基于闲话和位置片选机制的“通信效用”群策略。

但这些算法都有一定的局限性,较难准确地建立空间模型,而且没有将车载网络社会行为的规律性特征综合考虑。

本文主要针对 VANET 中 C2C (Car to Car) 的消息传递方式进行分析,并且假设车辆上都装有全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)、WIFI (Wireless Fidelity) 等收发终端。本文根据车辆行为具有一定社会性并且拓扑变化频繁的特点,通过车载 GPS 得到节点的位置、邻居情况和道路拓扑信息,提出 HBSR (Historical Behavior Statistic Routing) 方案,分时段将其转化为矩阵形式,并存储在节点的缓存空间内,然后根据该算法来计算消息从源节点到目的节点的所有转发路径,在降低网络负载的基础上达到增加消息转发成功率和降低消息送达时延的目的。

## 1 VANET 中车辆间的通信模式

VANET 中车辆之间的通信依靠自身 WIFI 等收发终端实现,每个车辆都有自己的通信范围,一辆车在另一辆车的通信范围内时,就可以交换相关数据,以实现彼此通信的目的。

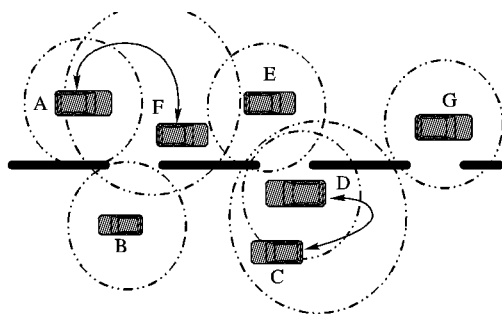


图 1 C2C 通信方式示意图

图 1 为车辆之间通信的简单示意图,图中共有 7 辆车 (A ~ G), 车辆周围的虚线圆圈代表车辆的通信范围,其中车辆 A 在车辆 F 的通信范围内,车辆 D 和车辆 C 的通信范围相互交叉,即车辆 A、F 和 D、C 可相互通信,图中双箭头实线代表车辆对之间可以交换信息,而 G 不与任何车辆的通信范围相交,所以现阶段无法发出和接收消息。

车辆在移动过程中,可通信的车辆会随之改变,从而实现消息的多跳转发。

## 2 HBSR 方案

车辆的行为直接或间接地都是由人来控制,由于人类行为的社会性,每天的每个时间段都有一定的规律可循,例如,某人每天 8:00—8:30 总是行驶在从家到工作单位的路上,而 5:00—5:30 总是从工作单位回家 (周末除外)。本文利用 WDM (Working Day Movement) 模型<sup>[14]</sup>产生模拟人类行为的实验数据,通过对各时段历史车辆行驶数据的统计,发现其中的规律性,并根据 HBSR 方案将其转化为矩阵形式,根据这些矩阵来进行消息传播路径的选择。

HBSR 方案由节点连通算法、拓扑重叠算法、路径选择算法和丢包策略 4 部分构成,其中节点连通算法根据车辆的相遇次数来计算车辆之间的连通性;拓扑重叠算法通过各时段的节点连通状态统计,来对源节点和目的节点在几个时段可达进行计算;路径选择算法根据节点连通矩阵来进行消息转发路径的选择;丢包策略根据消息的优先级和到达时间来决定丢弃顺序,从而减小网络负载。

### 2.1 节点连通算法

节点连通算法以 100 天内  $n$  辆车的行为作为历史数据,并根据需要将每天平均分为  $p$  个时段,对每个时段节点间的相遇次数进行统计,得到车辆连通矩阵。

以  $T_1$  时间段为例,使用  $n \times n$  的矩阵  $A_{(1)(1)}$ ,表示第一天该时段的初始车辆连通状况,具体如式 (1) 所示:

$$A_{(1)(1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad [A_{(1)(1)}]_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中:矩阵元素  $[A_{(1)(1)}]_{ij}$  表示第一天内  $T_1$  时刻车辆  $i$  和车辆  $j$  的相遇权重,这两个车辆每相遇一次,对应的相遇权重值就增加  $1/n$ ;对角线上的元素表示节点自身的相遇权重,统一赋值为 1,并不再改变。具体如式 (2) 所示:

$$[A_{(1)(1)}]_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j; \\ x_{ij}/n, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $x_{ij}$  为节点  $i, j$  的相遇次数。

假设最终得到的  $A_{(1)(1)}$  值如下:

$$A_{(1)(1)} = \begin{bmatrix} 1 & 5/n & \cdots & (n-9)/n \\ 5/n & 1 & \cdots & 8/n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (n-9)/n & 8/n & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

值得注意的是,该矩阵为对称矩阵,这是由于车辆  $i$  和  $j$  相遇一次,车辆  $j$  和  $i$  也必定相遇。为节省存储空间,在实际存储表的生成过程中,省略相遇时段为 0 的节点存储,即只存储相遇过的节点权重。

通过对 100 天的各个时段进行分别统计后,得到矩阵  $A_{(1)(1)}, A_{(1)(2)}, \dots, A_{(1)(100)}, A_{(2)(1)}, \dots, A_{(p)(99)}, A_{(p)(100)}$ , 其中每个矩阵中的值都代表相应时段相应天数的节点相遇权重。

得到上述矩阵后,对相同时间段的矩阵进行相加运算,即  $A_1 = (A_{(1)(1)} + A_{(1)(2)} + \cdots + A_{(1)(100)}), A_2 = (A_{(2)(1)} + A_{(2)(2)} + \cdots + A_{(2)(100)}), \dots, A_p = (A_{(p)(1)} + A_{(p)(2)} + \cdots + A_{(p)(100)})$ , 具体如式 (3) 所示:

$$(A_1)_{ij} = \begin{cases} 100, & i = j \\ \sum_{x=1}^{100} [A_{(1)(x)}]_{ij}, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

继而对这 100 天内每个时间段进行统计得到总矩阵  $A_1, A_2, \dots, A_p$ 。假设得到的  $A_1$  值如下:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 100 & 50/n & \dots & (92n+9)/n \\ 50/n & 100 & \dots & (80n-2)/n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (92n+9)/n & (80n-2)/n & \dots & 100 \end{bmatrix}$$

根据环境以及通信质量的要求,设定一个门限值  $\lambda$  将这 100 天内每个时间段总的统计矩阵  $A_1, A_2, \dots, A_p$  进行二值化,具体如式(4)所示:

$$(B_1)_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, (A_1)_{ij} > \lambda \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

以  $A_1$  为例,假设二值化后得到的矩阵  $B_1$  为(假设  $n \gg 100$ ):

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

统计连通状态的矩阵  $B_1, B_2, \dots, B_p$  中,1 代表对应节点在该时段连通,否则不连通。

## 2.2 拓扑重叠算法

根据上述节点连通算法得到的各时段节点连通状况矩阵  $B_1, B_2, \dots, B_p$ ,可以得到各个时段可能的节点连通状况,然后根据该连通矩阵对节点间可达的时段数进行计算。由于该计算方法需要用到多个矩阵的投影合并,因此称之为拓扑重叠算法,下面以 3 个时段( $T_1 \sim T_3$ ),全网 5 个节点(A~E)为例对拓扑重叠算法进行说明,节点的初始连通状况如图 2 所示。

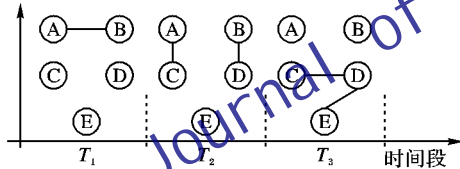


图2 节点连通状况示意图

假设经过节点连通算法得到的节点连通矩阵表示如下:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据这 3 个节点连通矩阵来计算每个时段的节点可达矩阵,并将该时段内可以相互通信的节点称为可达节点。具体如式(5)所示:

$$(C_x)_{ij} = \begin{cases} 1, & \sum_{m=0}^n [(B_x)_{ij} \& (B_x)_{mj}] > 0 \\ & (m \neq i, j; i = j; (B_x)_{ij} = 1) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中  $m$  为中介节点,并且对角线上的节点对为 1,原来连通的

节点对仍为 1,通过中介节点连通的节点对也为 1。节点可达状况如图 3 所示(虚线表示非连通但可达),矩阵表示如下:

$$C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

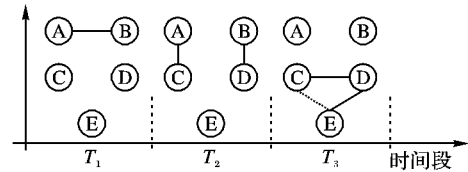


图3 节点可达状况示意图

根据节点可达矩阵计算  $T_1$  到  $T_3$  消息的可交付节点对(假设消息在节点间的转发时间小于等于时间片)。具体如式(6)所示:

$$[T_{(x)(y)}]_{ij} = \sum_{m=0}^n ([T_{(x)(y-1)}]_{im} \& [C_y]_{mj}) > 0 \quad (m \neq i, j; [T_{(x)(y-1)}]_{ij} = 1; [C_y]_{ij} = 1) \quad (6)$$

其中: $m$ 为中介节点,并且对角线上的节点对为1,原来可达的节点对仍为1,通过中介节点可达的节点对也为1。得到时段可达矩阵  $T_{(1)(2)}, T_{(1)(3)}, T_{(2)(3)}$  如下所示:

$$T_{(1)(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{(1)(3)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{(2)(3)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

## 2.3 路径选择算法

本文根据节点间的连通状态矩阵和时段可达矩阵,来决定消息转发所需的路径。

首先,根据时段可达矩阵来计算消息源节点到达目的节点所需要时间段数;其次,在这些时间段内运行路径选择算法进行路径选择。路径选择算法的主要思想为:

1) 根据源节点所在的第一个时间段,在上文提到的时段联通矩阵中选出所有可达节点和相关路径;

2) 以这些可达节点为源节点,在下一时间段再对 1) 中的工作进行重复,直到最后一个可达时间段;

3) 在得到的路径中选出含有目的节点的路径。

该算法的伪代码如算法 1 所示。

算法 1 The pseudo-code of Paths selection algorithm

输入源节点和目的节点

for(int  $x = 0; x < q; x++$ )

// $q$  为目的节点到达源节点所需的时间段数目



```

{Selectpath (A,F,C[])}
    //该函数的功能是在目的节点A和源节点F之间
    //输出路径, c[n] 为路径节点集, 初始只有一个元素A
    for (i = 0; i < z; i++)
        //z为B[]中的路径数目
        {输出所有包含F节点的路径和相关跳数;}
    }
Selectpath()
{for(i=0; i<n; i++)
    {If (Aq6 == 1) //n为整个网络的节点数
        //6为目的节点F的矩阵标号
        {输出路径节点序列B[]}, 并将该节点加入c[], 并以y
        对c[]中的节点计数;}
    for (i = 1; i < y; i++)
        {去除已求的重复节点, 对 Selectpath(c[i], F, c[y]) 进行
        递归运算;}
}

```

## 2.4 丢包策略

由于节点不能同时处理缓存中的所有消息分组, 当缓存空间耗尽时, 就只有丢弃分组; 而且在持续过载的状态下, 网络性能会急剧下降。因此, 良好的丢包策略是保持网络良好性能的一个重要因素, 本文提出的丢包策略的主要思想为:

- 1) 根据消息的紧急程度将消息划分优先级 (较紧迫的消息优先级较高, 如交通事故消息), 优先丢弃较低的数据包。
- 2) 优先级相同时, 根据消息到达节点缓存的顺序来决定丢包顺序。由于到达较早的消息已被其他节点转发的可能性较大, 所以优先丢弃较早到达缓存的消息。

在路径选择算法中, 本文算法为每个消息都选择了多条路径, 保证了较高的可靠性。为了得到较好的网络性能, 规定节点中的消息占缓存空间的 2/3 时, 即执行上述丢包策略。

## 3 实验仿真与分析

由于实际路段上的信息采集和分析工作量较大并存在一定的难度, 在考虑城市交通特点的基础上利用 ONE<sup>[15]</sup> 网络仿真平台进行了大量的实验仿真。

### 3.1 实验环境设置

为了对算法在真实环境下的性能进行模拟, 本文利用济南市区的城市道路拓扑图作为实验地图。仿真环境区域大小为 10 000 m × 8 000 m, 设置了 1 000 个移动节点分布, 节点缓存大小设置为 100 MB, 数据传输速率为 100 Kbps。实际仿真将移动节点分为三组: 第一组节点数量为 100, ID 为 Bus, 通信接口设定为 WIFI, 通信范围为 100 m, 并采用通过预先定义的移动轨迹进行移动的 Bus Movement 移动模型; 第二组节点数量为 500, ID 为 Person, 采用 WDM 移动模型, 其中定义的办公室数量为 200, 工作时间设定为 10 ~ 100 min, 每个节点拥有私家车的概率为 0.3; 第三组节点数量为 400, ID 为 Car, 采用 Shortest Path Map Based Movement 移动模型, 节点移动到目的地的停留时间设定为 10 ~ 100 s。

### 3.2 实验结果分析

在 ONE 仿真环境下, 以消息交付率和送达时延为衡量标准, 分别对 Epidemic Router (EPI)、Prophet Router (PRO) 和 Spray And Wait Router (SAW) 典型路由算法和本文提出的 HBSR 方案的路由性能进行比较, 得到图 4 和图 5 所示的交付率对比图和时延对比图。

由图 4 可以看出, 随着运行时间的增加, 各种算法的交付率都有所增长, 其中 HBSR 方案成功交付率增长速度最快。运行 4 500 s 左右时, HBSR 方案和 EPI 算法的交付率同时达到了 8%, 明显高于 SAW 和 PRO 算法。在 4 500 ~ 7 000 s 这段时间内, HBSR 方案的交付率增长较快, 并在约 7 500 s 时超

过 EPI 算法且很好地保持了这种差距。运行约 10 000 s 时, HBSR 方案的交付率已远远高于 EPI、PRO 和 SAW 算法。由此可以看出, 随着运行时间的增加, 本文提出的 HBSR 方案在交付成功率方面将远远优于其他几种典型路由算法。

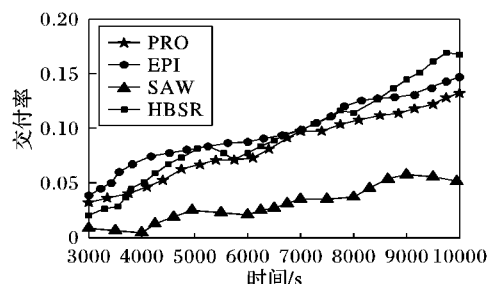


图4 交付率对比

图 5 为 HBSR 方案与其他三种算法的消息交付时延对比图, 总体来看, 随着实验运行时间的增加, HBSR 方案的交付时延将低于其余 3 种典型路由算法, 并保持了较高的稳定性。EPI、PRO 和 SAW 算法的消息交付率在低时延的所占比例相当, 在时延 3 000 ~ 9 000 s 中呈现平稳趋势。根据统计, EPI 平均时延在 6 000 s 左右, HBSR 方案的消息交付率在低时延所占比例远远高于前 3 者的所占比例, 其中在 1 000 ~ 4 000 s 范围内所占比例最高, 平均时延在 2 500 s 左右。

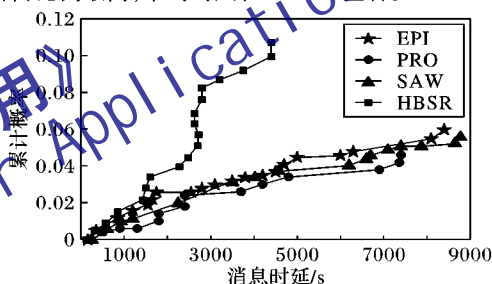


图5 时延对比

实验证明, 在路由算法中增加了人类移动规律的 HBSR 方案在消息交付率和时延方面明显优于 EPI、PRO 和 SAW 算法, 并表现稳定。

## 4 结语

本文针对 VANET 中已有协议的局限性, 根据车辆行为具有一定社会性并且拓扑变化频繁的特点, 提出了一种 HBSR 方案来计算消息从源节点到目的节点的最佳转发路径, 增加了消息转发成功率, 降低了消息送达时延。

### 参考文献:

- [1] 陈立家, 江昊, 吴静, 等. 车用自组织网络传输控制研究[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1477 - 1490.
- [2] 苏金树, 胡乔林, 赵宝康, 等. 容延容断网络路由技术[J]. 软件学报, 2010, 21(1): 119 - 132.
- [3] JOHNSON D B, MALTZ D A. Dynamic source routing in Ad Hoc wireless networks [J]. Mobile Computing, 1996, 353: 153 - 181.
- [4] NAVAS J C, IMIELINSKI T. Geocast-geographic addressing and routing [C]// MobiCom '97: Proceedings of the 3rd Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 1997: 66 - 76.
- [5] MAIHOFFER C. A survey of geocast routing protocols [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2004, 6(2): 32 - 42.
- [6] KARP B, KUNG H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]// MobiCom '00: Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2000: 243 - 254.

法和遗传算法的时隙分配结果的数据包平均时延变化情况。

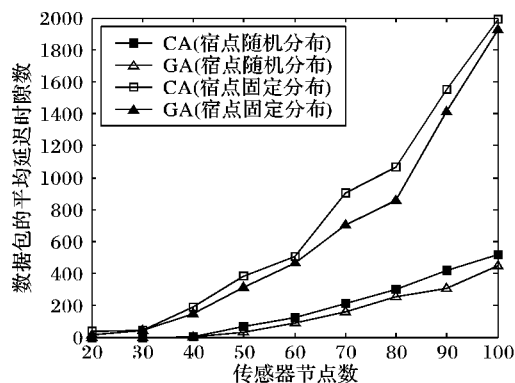


图5 传感器节点数对数据包平均时延的影响

在一些服务质量高的网络中,往往要求数据传输的时延要尽可能的短。因此,数据包平均时延的好坏决定了该网络的应用范围。由式(5)可知,数据包平均时延的大小取决于时隙分配方案中数据包总时延。不同的分配方案,求得的时延不同。采用着色算法对网络进行时隙分配时,由于该算法并未考虑时延,所以分配结果中的时延指标具有不确定性。但当采用遗传算法对时隙分配方案的数据包平均时延进行优化时,均能得到较着色算法较好的时延指标。图5中,在宿点固定分布的情形下,当网络中传感器节点增加到100个时,采用着色算法得到的平均时延达到2000个时隙,而采用遗传算法优化的结果为1930个时隙。在宿点随机分布的情形下,当网络中传感器节点增加到100个时,采用着色算法得到的平均时延达到522个时隙,而采用遗传算法优化的结果为440个时隙。

#### 4 结语

针对单宿点无线传感器网络的时延大、容易出现传输瓶颈等问题,提出多宿点无线传感器网络模型和基于该网络模型的TDMA分配算法。与着色算法相比,无论是宿点位置固定的情形还是宿点随机分布的情形,基于遗传算法的多宿点无线传感器网络的TDMA时隙分配算法均能得到具有更优网络性能的分配方案。此外,当网络中的传感器节点固定时,随着宿点位置的改变,网络时隙分配方案也将随之改变。因此,接下来的工作中将努力研究在网络规模一定的情况下,如

何优化网络拓扑,使得时隙分配方案具有更优的网络性能。

#### 参考文献:

- [1] ERGEN S C, VARAIYA P. TDMA scheduling algorithms for wireless sensor networks[J]. *Wireless Networks*, 2010, 16(4): 985-997.
- [2] YEO J, LEE H, KIM S. An efficient broadcast scheduling algorithm for TDMA Ad Hoc networks[J]. *Computers & Operations Research*, 2002, 29(13): 1793-1806.
- [3] ERGEN S C, VARAIYA P. PEDAMACS: Power efficient and delay aware medium access protocol for sensor networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, 5(7): 920-930.
- [4] ZHANG XIZHENG, WANG YAONAN. New mixed broadcast scheduling approach using neural networks and graph coloring in wireless sensor network[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2009, 20(1): 185-191.
- [5] YE WEI, HEIDEMANN J, ESTRIN D. An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks [C]// *INFOCOM 2002: Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Washington, DC: IEEE Computer and Communications Societies, 2002, 3: 1567-1576.
- [6] 毛剑琳, 吴智铭. 无线传感器网络 TDMA 调度的能量-时延 Pareto 优化[J]. *控制与决策*, 2007, 22(9): 967-971.
- [7] 刘明, 黄小燕, 刘锐, 等. 无线传感器网络节点实时流量负载的时隙调度算法[J]. *计算机应用与软件*, 2009, 26(10): 50-52.
- [8] 陈剑, 贾杰, 闻英友, 等. 基于 TDMA 方式 WMN 中一种链路调度的制研究[J]. *控制与决策*, 2007, 25(9): 1349-1353.
- [9] 康凯, 郭伟, 刘仁婷. 一种 TDMA 无线多跳网中新的传输调度算法[J]. *电子科技大学学报*, 2007, 36(2): 173-175.
- [10] 吴明娟, 刘海涛, 李磊, 等. 改进型 WSN 分布式 TDMA 调度协议[J]. *计算机工程*, 2010, 36(17): 13-16.
- [11] 王庆华, 屈玉贵, 等. 多输入多输出的异构无线传感器网络时分多址调度算法[J]. *西安交通大学学报*, 2008, 42(11): 1402-1407.
- [12] 韩成, 吴援明. 多跳无线网络中基于空分 TDMA 的时隙分配策略[J]. *通信技术*, 2010, 43(3): 90-95.
- [13] 谢茂涛. 无线传感器网络中一种动态节能的 MAC 协议[J]. *通信技术*, 2008, 41(6): 14-16.
- [14] 王陆江, 张伟, 张敬忠. 基于 TDMA 的无线传感器网络时隙分配算法[J]. *计算机工程与设计*, 2008, 29(7): 1706-1708.
- [15] 郭鹏, 舒乐, 朱光喜. 无线传感器网络初始化时隙分配算法[J]. *小型微型计算机系统*, 2009, 30(4): 652-656.

(上接第 362 页)

- [7] JING T, ILLYA S, KURT R. Spatial aware geographic forwarding for mobile Ad Hoc networks [EB/OL]. [2011-03-04]. <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2002/1160/pdf/TR-2002-01.pdf>.
- [8] ZHAO JING, CAO GUOHONG. VADD: Vehicle-assisted data delivery in vehicular Ad Hoc networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(3): 1910-1922.
- [9] JEONG J, GUO S, GU Y, et al. TBD: Trajectory-based data forwarding for light-traffic vehicular networks [C]// *ICDCS'09: 29th International Conference on Distributed Computing Systems*. Piscataway: IEEE, 2009: 231-238.
- [10] SKORDYLIS A, TRIGONI N. Delay-bounded routing in vehicular Ad Hoc networks [C]// *MobiHoc'08: Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*. New York: ACM, 2008: 341-350.
- [11] ZHANG YANG, ZHAO JING, CAO GUOHONG. On scheduling vehicle-roadside data access [C]// *VANET'07: Proceedings of the*

4th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. New York: ACM, 2007: 9-18.

- [12] DING YONG, CHEN WANG, LI XIAO. A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks [C]// *VANET'07: Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*. New York: ACM, 2007: 59-68.
- [13] NANDAN A, DAS S, PAU G, et al. Cooperative downloading in vehicular Ad Hoc wireless networks [C]// *WONS'05: The 2nd Annual Conference on Wireless On-demand Network System and Services*. Piscataway: IEEE, 2005: 32-41.
- [14] EKMAN F, KERÄNEN A, KARVO J, et al. Working day movement model [C]// *MobilityModels'08: Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE Workshop on Mobility Models*. New York: ACM, 2008: 33-40.
- [15] KERÄNEN A, OTT J, KÄRKÄINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C]// *SIMUTools'09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. Brussels: ICST, 2009: 55.