

一种车载自组网中节点密度自适应的数据分发策略*

杨卫东¹⁺, 刘伎昭¹, 刘燕², 邓森磊¹, 周新运³

¹(河南工业大学 信息科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

²(北京大学 软件与微电子学院, 北京 100190)

³(中国科学院 软件研究所 信息安全国家重点实验室, 北京 100190)

Data Dissemination Scheme Based on Adaptive Density of Nodes in Vehicular Ad-Hoc Networks

YANG Wei-Dong¹⁺, LIU Ji-Zhao¹, LIU Yan², DENG Miao-Lei¹, ZHOU Xin-Yun³

¹(College of Information Science and Engineering, He'nan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

²(School of Software and Microelectronics, Peking University, Beijing 102600, China)

³(State Key Laboratory of Information Security, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

+ Corresponding author: E-mail: mengguyang@163.com

Yang WD, Liu JZ, Liu Y, Deng ML, Zhou XY. Data dissemination scheme based on adaptive density of nodes in vehicular ad-hoc networks. *Journal of Software*, 2011, 22(Suppl. (1)): 83-92. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/11009.htm>

Abstract: The high mobility of vehicles causes the frequent change of networks topology. This is part of a huge challenge on the data dissemination of VANETs. Even though existing flood-based routing protocols provide high reliability, they can not achieve the good trade-off shown among delivery ratio, delay, and the number of message redundant copies. A data dissemination scheme based on adaptive node density for VANETs is proposed. Nodes can rapidly gain the geographical distribution of "hotspot" regions via the proposed distributed algorithm. The hop-count limit function is established which is based on the Euclidean distance of the nearest "hotspot" region and density of nodes. When making forwarding deciding, nodes set a dynamically upper bound on the message hop count to avoiding unnecessary message redundant copies in the "hotspot" region. The number of message redundant copies can be effectively reduced in the network. The simulation results show that the delivery ratio and delay of this scheme are close to the epidemic routing protocol, but the number of message copies can be reduced by 37.5%.

Key words: vehicular ad-hoc network; data dissemination; hotspot; node density

摘要: 节点高速移动造成网络拓扑频繁变化,使得车载自组网的数据分发充满挑战.研究表明,基于洪泛原理的一类数据分发机制能够可靠有效传输车载自组网中的数据,但没有较好地实现传输成功率、传输时延和消息冗余副本之间的折中.提出一种节点密度自适应的数据分发策略,通过分布式节点密度感知算法,使每个节点快速获知整个

*基金项目: 国家自然科学基金(61073014); 国家重大专项(2010ZX03006-007); 河南省科技攻关项目(102102210121, 102102210026); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目(ISCAS2009-DR04); 河南工业大学博士基金项目(2009BS021); 河南工业大学校科研重点项目(09XZD004)

收稿时间: 2011-05-02; 定稿时间: 2011-07-29

网络中热点区域的分布.基于节点与热点间的欧氏距离和节点密度建立跳数限制函数,动态对转发消息进行跳数限制,减少在热点区域的副本复制,有效地降低网络中消息冗余副本数量.仿真实验结果表明,本文方法在传输成功率和时延方面与 epidemic 协议接近,但冗余消息副本数减少了 37.5%,有效地折衷了三者之间的关系.

关键词: 车载自组网;数据分发;热点;节点密度

车载自组网(vehicular ad-hoc networks,简称 VANET)^[1]是安装在车辆上的无线节点(本文简称节点)和路边基础设置(road side unit,简称 RSU)组成的自组织异构无线多跳网络,通信模式包括节点之间自组织多跳通信和节点与 RSU 之间通信.车载自组网是无线传感网和无线自组网在智能交通领域的特殊应用.它具有明显的新特性:网络规模大、节点移动速度快、节点空间分布不均匀、节点移动轨迹受道路限制、节点具有较强的计算能力和充足的电源供应等.车载自组网的典型应用包括交通管理^[2]、交通安全^[3]和城市监测^[4]等.

复杂的城市交通环境对 VANET 数据分发提出了挑战.首先,节点的高移动性造成链路生存期短,网络拓扑结构变化频繁,基于路由发现和维系的同步路由机制难以有效应用;其次,由于地理位置、交通状况等因素,车辆节点往往呈现强烈的不均匀分布,节点密集的热点区域和节点稀疏区域同时存在,网络连通度呈现较大差异.

为了提高大规模、高动态 VANET 数据分发的性能,本文提出了一种节点密度自适应的数据分发策略(data dissemination scheme based on adaptive density of nodes,简称 DDADN).通过车辆的移动过程发现节点高密度的热点区域,利用节点相遇机会扩散发现的热点信息,通过分布式算法使每个节点快速获知整个网络中热点区域的空间分布.由于热点区域内部节点具有较多的邻居节点和高的连通概率,因此,使用单副本转发模式可获得较高的传输成功率和较小的传输时延.节点在进行数据转发时,首先计算其与热点区域的距离,并动态对消息转发跳数限制,避免热点区域中大量复制消息造成冗余,能够有效降低节点缓存和通信带宽的消耗.仿真实验结果显示了本文提出的方法相对于传染性路由协议(epidemic routing protocol)在没有明显性能降低的前提下显著减少了冗余消息副本数.

1 相关工作

为了保证间断连接网络环境中的数据分发问题,研究人员提出了延迟容忍网络(delay-tolerant networks,简称 DTN)的概念,使用基于存储-携带-转发(store-carry-forward)的消息转发模式,节点接收到消息后暂时缓存(store),在移动过程中携带(carry)数据等到下一次与合适节点相遇才进行转发(forward).传染性路由协议^[5]模仿了病毒扩散传播的原理,当节点相遇产生通信机会时,节点对缓存中的消息列表进行 Hash 索引,建立并交换总结向量(summary vector),确定对方节点拥有的但本节点尚未缓存的消息,发送请求并接收消息副本.这种基于洪泛机制的转发策略能够在间断连接的 DTN 网络中获得最大化的传输成功率和最小化的时延,但网络中冗余消息副本的数量以指数速度增长,大量浪费节点缓存空间和通信带宽.在网络规模大,节点移动速度快,相遇频繁的车辆网络环境中,特别是在节点高密度的热点区域,这种路由协议的缺点更加明显.

散发-等待(spray-wait)^[6]路由协议使用两跳中继路由策略,消息转发由两个过程组成:在 spray 阶段,源节点将消息复制为 L 个副本,分发给最先相遇的 L 个不同的中继节点;在 wait 阶段, L 个中继节点不再产生消息副本,使用直接传输(direct transmission)策略直至与目的节点相遇完成转发过程.散发-等待协议继承了传染性路由的简单性和直接传输的健壮性,但在连接稀疏的网络中性能不理想.

针对车载自组网的间断连接特性,研究人员提出了基于“存储-携带-转发”模式的路由协议解决数据分发问题.文献[7]中提出的 VADD(vehicle-assisted data delivery)是根据预载入的历史统计数据来选择车辆密度尽可能大的路径传递消息的协议,但真实交通环境中,路段车辆密度往往变化幅度很大且较难预测,此种方法很难保证选择最优化路径.文献[8]提出了 MDDV(mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks),使用节点移动性代替同步路由协议进行机会数据转发.

2 节点空间分布特性分析

为便于分析,作如下假设:

- 1) 使用离散化时间和地理空间, $t=1,2,\dots$ 是离散的时隙(timeslot),单位为 1s.地理空间划分为 $m \times n$ 个正方形网格,位于第 i 行,第 j 列的方格记为 $Grid_{i,j}$.
- 2) 忽略连接持续时间,一旦连接建立则视为立即完成任意数量的消息发送(接收).
- 3) 节点借助于定位设备可以获知实时位置信息.
- 4) 节点可实时获知当前无线传输范围 TR (transmission range)内邻居节点的数目,建立并维护当前邻居列表.

定义 1(连接). 若两节点的欧氏距离小于节点传输范围 TR ,则认为两节点建立连接(contact).节点 u 和 v 在时刻 t 的连接状态记为 $C_{uv}(t)$.若 u 和 v 的距离小于 TR 则 $C_{uv}(t)=1$,其它情况下 $C_{uv}(t)=0$,本文假设连接是对称的,即 $C_{uv}(t)=C_{vu}(t)$.

定义 2(邻居节点数). 节点同时建立的连接数量.节点 u 在时刻 t 的邻居节点数记为

$$n_u(t) = \sum_{i=1, i \neq u}^N C_{ui}(t) \quad (1)$$

N 表示网络中的节点总数.

定义 3(连通图). 使用无向图表示网络的连通状态,令 G_t 表示时刻 t 的连通图. $G_t=(V,E_t)$, V 是顶点集, E_t 是边集,边 $(u,v) \in E_t$ 表示 $C_{uv}(t)=1$.

定义 4(度). 连通图中顶点的度表示连接该顶点的边的总数.顶点 u 在连通图 G_t 中的度记为 $d_u(t)$.

2.1 节点密度分布特性

本文利用节点邻居数表示节点密度,建立网络连通图分析城市交通环境下节点密度的分布特性.

假设每台车辆均配备无线节点,通过计算时刻 t 每个车辆的位置可以建立网络连通图 $G_t(t=1,2,\dots,t)$.统计连通图中节点的度,并映射到节点所在的地理空间网格,则网格 $Grid_{i,j}$ 在时刻 t 的平均邻居节点数 $n_{Grid_{i,j}}(t)$ 等于该网格内所有节点在连通图 G_t 中的度均值:

$$n_{Grid_{i,j}}(t) = \frac{\sum_{u=1}^k d_u(t)}{k} \quad (2)$$

其中, k 是网格 $Grid_{i,j}$ 内的节点个数, $d_u(t)$ 是节点 u 在连通图 G_t 中的度.

进一步计算固定实验周期内所有 t 个时隙的 $n_{Grid_{i,j}}(t)$ 的均值 $\bar{n}_{Grid_{i,j}}$,可得节点密度分布.

2.2 热点区域

节点空间分布是影响数据分发效率的重要因素.节点稀疏分布时通信机会较少,基于洪泛机制的数据分发策略能够获得理想的性能.但在节点密集区域,冗余消息副本的数量快速增长,大量消耗节点缓存空间和通信带宽,此时单副本转发策略是合理的替代方案,能够获得接近的性能同时有效减少资源消耗.二者之间的界限在于网络的连通性,即网络是分簇的还是 k -连通 $k \geq 1$ 的.因此,本文将热点区域视为网络 k -连通的区域.令节点连通概率为节点属于网络中最大连通分支的概率,高连通概率可视为节点连通概率接近概率 1.那么,热点区域可定义为节点具有高连通概率的区域.

随着节点密度增加,节点连通概率存在“阶跃”现象.基于渗透理论的大规模无线多跳网络连通性研究显示^[9]:节点密度存在一个临界值 λ^* ,节点密度 λ 在此之下时,网络总是被分割为多个有限规模的“簇”,即次临界阶段. λ 增大到关键密度 λ^* 后网络连通性发生阶跃,大部分节点组成一个无穷大的“连通簇”,网络渐近(asymptotic)全连通.在一维网络中,设节点无线传输范围为 r ,节点密度为 λ 则距离为 x 的任意两节点的连通概率 $P_c(x)$ 为

$$P_c(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } 0 \leq x < r \\ \sum_{i=1}^{\lfloor x/r \rfloor} \frac{(-\lambda e^{-\lambda r}(x-ir))^i}{i!} - e^{-\lambda r} \sum_{i=1}^{\lfloor x/r \rfloor - 1} \frac{(-\lambda e^{-\lambda r}(x-(i+1)r))^i}{i!}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

目前,二维空间网络中,关键密度 λ^* 的值不能通过解析方法计算^[9].基于仿真方法可得到:当 $\lambda^* \pi r^2 > 4.5 \sim 5.5$ 时,网络逼近全连通状态($\lambda^* \pi r^2$ 是用邻居节点数表示的节点密度临界值).

3 节点密度自适应的数据分发策略

3.1 分布式节点密度感知机制

节点在移动过程中记录经过网格的平均邻居数,节点相遇时交换各自的记录,使得每个节点能够快速获知网络中热点区域的空间分布.

每个节点维护一个 $m \times n$ 的矩阵(m 和 n 是离散化地理空间中网格的数目).节点 u 的矩阵记为 \mathbf{M}_u ,位于第 i 行第 j 列的矩阵元 $m_{i,j}$ 的信息格式为 $[n_{grid,i,j}(t), T_{update}]$. $n_{grid,i,j}(t)$ 是网格在时刻 t 的平均邻居节点数, T_{update} 是信息最后更新时间.节点在移动过程中以固定时间间隔 $T_{interval}$ 计算邻居节点数 $n_u(t)$ 并映射到相应矩阵元 $m_{i,j}$.本文中设置 $T_{interval}=5s$.若节点 u 和 v 在时刻 t 相遇,首先交换矩阵,然后检查接收矩阵的所有矩阵元 $m_{i,j}$,若信息更新时间 T_{update} 晚于本节点相应值,则更新相应信息.

设网络中节点总数为 N ,节点 u 在时长为 T 的周期内相遇的节点数记为 $n_u, u=1,2,\dots,N$,则节点的相遇次数期望 $E(n_u) = \bar{n}$.网络中地理空间矩阵的交换次数为 $K_n \propto N \bullet \bar{n} / 2$,由于 $\bar{n} \propto T \bullet \bar{v} \bullet \rho$, \bar{v} 是节点移动的平均速度, ρ 是节点密度,而 ρ 是和节点总数 N 成比例的,所以可得结论 $K_n = O(N^2)$.

基于分布式节点密度感知算法,不同位置的节点感知热点区域的速度不同.处于热点区域内部的节点将在短时延内获知热点信息.由于车辆的移动性,热点周边区域的节点也将在一定时延内感知热点.较长的感知时延发生在稀疏区域和两个相距较远的热点区域之间.

3.2 数据分发策略

使用分布式节点密度感知方法,节点在转发消息时可以获知热点区域的距离和当前区域节点密度的估计值,从而能够估计消息转发到热点区域的拓扑距离(跳数).通过对消息进行跳数限制,使消息到达热点区域前停止副本复制,由洪泛机制转为单副本转发机制,减少消息冗余副本的数量.

设节点 A 缓存中存在待转发消息 m ,则节点 A 与节点 B 相遇时转发过程如下:节点 A 首先判断当前位置,若在热点区域内,则查询当前所有邻居的邻居节点数,选择具有最大邻居节点数的节点 H ,转发消息 m (同时删除本节点缓存的 m).若节点 A 位于热点区域之外,则检查消息的跳数限制 hop .若 $hop = \infty$,复制消息副本 m_c ,使用跳数限制函数 $f(distant, density)$ (见第 3.3 节)设置跳数限制后发送至节点 B .若 $\infty > hop > 0$,设置消息副本 m_c 的跳数限制 $hop = hop - 1$,发送至节点 B .

下面是伪码描述的DDADN消息转发算法.

算法 1. DDADN 算法.

```

1   while 1 do
2     while B is in contact with A do
3       if B=destination
4         send  $m$  to B
5       else
6         if A is in hotspot-region
7           H=maxdegree(A)
8           send  $m$  to H
9       else

```

```

10          $m_c = m.clone();$ 
11         if  $m_c.hop = \infty$ 
12              $m_c.hop = f(distant, density)$ 
13         else if  $m_c.hop > 0$ 
14              $m_c.hop = m_c.hop - 1$ 
15         send  $m_c$  to B
16     end if
17 end if
18 end while
19 end while
    
```

3.3 跳数限制函数

动态跳数限制的关键在于选择合适的跳数限制函数,使消息在抵达热点区域前停止复制.所需的跳数可视为当前节点与热点区域的距离和当前区域节点密度的函数.但真实交通环境中节点密度往往是不均匀的,节点平均邻居数往往相差较大,给准确的跳数计算带来了困难.

复杂网络理论中的随机图^[10]研究了自然界中实体之间的随机关系,是分析无线多跳网络的有效工具.文献[11]在传统随机图的基础上,假设节点的度不是常量,提出只要节点度服从一定分布并且期望存在,则节点间平均距离(跳数)的期望存在,并给出了平均距离的解析表达式:

$$\hat{h} = c \frac{\log(N)}{\log(\tilde{E}_d)} \quad (4)$$

c 是大于 0 的实数系数, N 是图中顶点个数, \tilde{E}_d 是图中节点度的期望.本文基于文献[11]的成果,使用几何随机图计算了消息传输至热点区域所需跳数的估计值,建立了动态跳数限制函数.

定理 1. 设当前节点为 u , v 是热点区域边缘上与 u 距离最近的节点,则 u 和 v 的平均距离(跳数) $hop_{u,v}$ 为

$$hop_{u,v} = c \frac{\log\left(\frac{n_{average} d^2}{\pi r^2}\right)}{\log(n_{average})} \quad n_{average} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{k} \quad (5)$$

d 是节点 u 和 v 的欧氏距离, r 是节点传输范围.以 u 为圆心,以 d 为半径的圆(见图 1)覆盖的离散化网格集合为 G , $k = |G|$ 是网格的个数, n_i 是网格 i 的平均邻居节点个数.

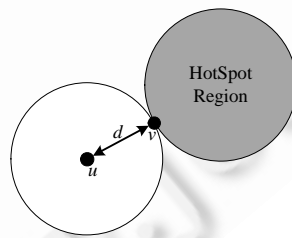


Fig.1 Dynamic hop-limitation

图 1 动态跳数限制

证明:假设圆覆盖的区域包含 k 个离散化网格,网格内节点随机放置,节点个数记为 N ,则网格内节点分布可用几何随机图表示.由几何随机图的性质可知单位面积内节点个数服从泊松分布.圆内的节点密度 λ 可近似地认为等于所有离散化网格内的节点密度的均值:

$$\lambda = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{k} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{k\pi r^2} \quad (6)$$

k 个网格内节点总数为

$$N = \pi d^2 \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{k\pi r^2} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i d^2}{k\pi r^2} \quad (7)$$

则几何随机图中的节点度分布服从期望为 $n_{average}$ 的泊松分布,符合方程(4)的条件,将(7)代入(4),可得定理 1. \square

根据定理1建立节点动态跳数限制函数

$$f(distant, density) = \begin{cases} \infty, & d > d_{up_bound} \\ \log\left(\frac{n_{average} d^2}{\pi r^2}\right), & d \leq d_{up_bound} \\ c \frac{1}{\log(n_{average})}, & \end{cases} \quad (8)$$

d_{up_bound} 是当前节点与热点间欧氏距离的上限,距离大于 d_{up_bound} 不再进行跳数限制. c 是常数系数.

4 仿真和性能评价

本文基于真实车辆轨迹进行 DDADN 算法性能的分析 and 验证.由于传统的 NS-2 等仿真工具不适用于 DTN 网络环境,因此本文使用了赫尔辛基理工大学开发的基于 Java 环境的开源仿真工具 ONE(Opportunistic Network Environment simulator)^[12,13].该软件具有较高的可扩展性,允许用户扩充各种 DTN 路由算法,使用自定义的道路拓扑和节点移动轨迹.仿真实验使用的车辆轨迹数据集为运行于美国旧金山市的 536 辆出租车在 23 天时间内的行驶轨迹^[14].车辆使用 GPS 设备获取实时位置信息,格式为[id,timestamp,lo,la,state].其中:id 是车辆编号,timestamp 是时间戳,lo 和 la 是车辆位置的经纬度坐标,state 代表当前是否载有乘客,时间精度为 1s,位置精度为 1×10^{-6} 度.仿真实验的参数设置见表 1.

Table 1 Simulation parameters

表 1 仿真实验参数

参数	取值
Simulation area	13×11(km)
Number of vehicles	536
Number of roads	20 793
Transmission range	500(m)
Data packet size	2(KB)
Buffer size	10(MB)
Message TTL	1200(s)

由于车辆位置信息采集的时间间隔过长(约 60s),对原始数据集进行了预处理.首先,从美国统计调查局的 TIGER 数据库^[15]获得包含旧金山市道路拓扑的电子地图.选取 13×11km 的区域作为仿真区域(经度 [122.379000,122.509000],纬度[37.703000,37.813000]),仿真区域内包含 14 264 条直线型道路和 6 529 条由多个线段近似表示的曲线型道路.对落在道路之外的轨迹点进行了地图匹配.将车辆位置点投影到邻近道路上,选择具有最小投影距离的道路,使用车辆位置点在该道路上的投影作为匹配后的车辆位置.使用 Dijkstra 算法按照最短距离的原则,对两次位置采集之间的缺失轨迹进行了拓扑插值,得到时间粒度为 1s 的完整车辆轨迹.图 2 是经过预处理的一辆出租车在 2 个小时内的完整行驶轨迹.

为便于仿真,选择时间长度为 3600s 的车辆轨迹作为仿真周期.将仿真空间离散化为 65×55 个地理网格,网格大小为 200×200 m.仿真实验计算了热点区域阈值,统计了热点信息在网络中的扩散速度.选择传输成功率、平均时延和冗余消息副本数作为衡量数据分发策略性能和成本的度量.



Fig.2 Map-Matching and interpolation
图2 地图匹配和插值

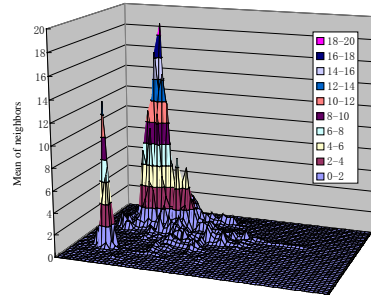


Fig.3 Distribution of neighbors number (TR=500m)
图3 车辆平均邻居数分布图(TR=500m)

4.1 热点区域阈值计算

假设每台车辆均配备无线节点,组成车载自组网.通过计算仿真实验周期中车辆的实时位置可以建立 3600 张连通图.统计 t 时刻连通图 G_t 中节点的度,根据方程(2)可得网格平均邻居节点数 $n_{grid,i,j}(t)$.计算 $n_{grid,i,j}(t)$ 在 3600 张连通图中的均值 $\bar{n}_{grid,i,j}$,可得 1 小时内的节点密度分布.如图 3 所示.

从图中可观察到节点密度的不均匀分布:18.9%的节点集中在稠密区域,节点平均邻居数达到 6 以上,最高可达到 18 以上,但这些区域只占总面积的 1.7%.18.8%的节点分布在占总面积 91.7%的稀疏区域,平均邻居数小于 1,大部分节点不能同时拥有多个邻居节点,呈现典型的 DTN 特性.网络各部分所占面积比例以及包含的节点比例见表 2.

Table 2 The area and number of nodes

表 2 网络各部分的面积和节点数

网格平均邻居数	面积比例(%)	节点数比例(%)
$\bar{n}_{grid,i,j} < 1$	91.7	18.8
$1 \leq \bar{n}_{grid,i,j} < 6$	6.6	43.4
$6 \leq \bar{n}_{grid,i,j}$	1.7	18.9

4.2 分布式节点密度感知算法性能评价

使用真实车辆轨迹运行分布式节点密度感知算法,以 1s 的时间间隔检查节点保存的矩阵 \mathbf{M} ,同时利用当前时刻的连通图统计热点区域的分布,若二者重合面积大于 80%则视为节点成功感知热点.从 $t=0$ 开始统计感知到热点的车辆数量,结果如图 4 所示.

从图 4 中可以观察到在 1000s 内,80%以上的节点可以感知到所有热点.以热点 1 为例:曲线可分为两段,大部分节点位于热点区域内部或周边区域,信息扩散较快,80%车辆在 600s 内可感知到热点.稀疏区域节点感知较慢,直到 1700s 左右,才完成 100%节点的感知.热点 2 距离热点 1 较远,在 600s 时才完成与网络其他节点的信息交换,所以在 600s 附近热点 1 和热点 2 的感知比例同时出现“阶跃”.

节点存储地理空间矩阵 \mathbf{M} 占用的缓存空间为 $m \times n \times (S_n + S_t)$. S_n 为矩阵中存储网格平均邻居数占用的字节数, S_t 为存储更新时间占用的字节数.本文中 $S_n = 1$, $S_t = 4$.节点存储矩阵所需空间为 14k Bytes.由于在跳数限制函数中,当前节点与热点区域距离大于 d_{up_bound} 时不进行跳

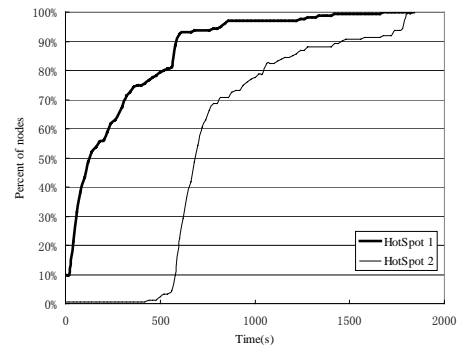


Fig.4 Performance of hot-aware algorithm
图4 热点感知算法性能评价

数限制,所以可以只交换与当前节点位置距离小于 d_{up_bound} 的部分地理网格的信息.仿真实验中, d_{up_bound} 的取值是 2000m,所以每次信息交换的最大数据量仅为 2k Bytes.

4.3 DDADN性能评价

仿真参数设置如下:消息总数为 1 800 个,在 $t=1200s\sim 1600s$ 范围内(前 1 200s 是节点感知热点的时间)随机产生,消息随机选择源节点和目的节点,消息生存期 $TTL=1200s$.使用消息传输成功率、时延和冗余副本数作为度量,选择传染性协议和散发-等待协议进行对比分析,仿真结果如图 5 和图 6 所示.

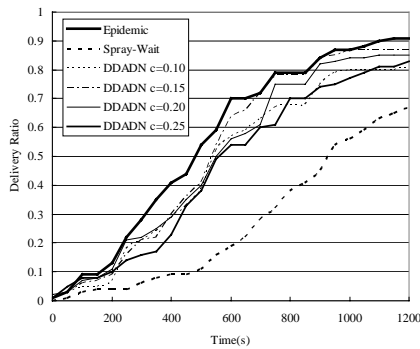


Fig.5 Data delivery ratio

图 5 消息传输成功率

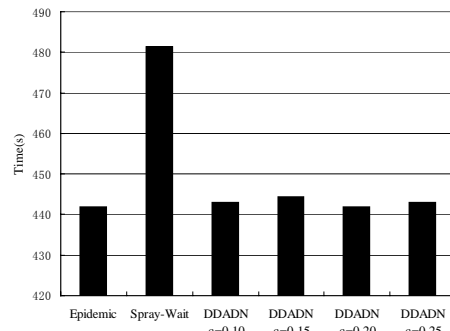


Fig.6 Average delay time

图 6 平均时延

从图 5 中可观察到,DDADN 的传输成功率与传染性路由接近:传染性路由传输成功率为 91%,DDADN 在参数 c 的不同取值下能够获得 81%~87%的传输成功率,与传染性路由的平均差距不到 10%.由于散布-等待路由协议只依靠源节点和有限个数的中继节点进行直接传输,消息在网络中的扩散速度明显低于传染性路由和 DDADN,只能获得 67%的传输成功率.

图 6 是 3 种数据分发策略的平均传输时延对比.传染性协议的平均时延是 442s,DDADN 的平均时延为 443s~450s,与传染性路由接近.而散发-等待协议的平均时延为 482s,明显高于传染性路由和 DDADN.

图 7 是网络中的冗余消息副本数.传染性路由产生了超过 16 000 个冗余消息副本,DDADN 的消息副本数在 8500~11500 之间,平均比传染性路由减少了 37.5%,散布-等待协议只选取固定数目的节点作为中继节点进行消息分发,因此资源消耗最小.

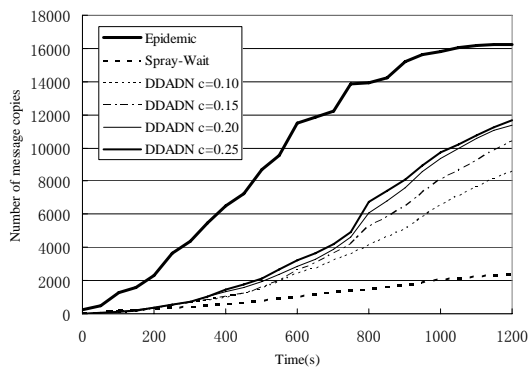


Fig.7 Number of message copies

图 7 冗余消息副本数

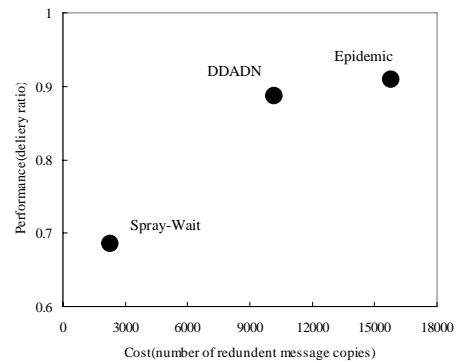


Fig.8 Comparison of performance of three schemes

图 8 3 种数据分发策略的综合性能比较

从图 7 可知,DDADN 中参数 c 的取值与产生的冗余消息副本数正相关,这是由于 c 的增大会导致跳数限制

值的增加,从而增加消息复制次数,产生更多消息副本。

3 种数据分发策略的综合性能分析如下:传染性路由性能最佳,但资源占用最多;散发-等待协议使用一次复制、两跳中继的模式,资源占用最少,但无法达到接近传染性路由的高性能;DDADN 在没有明显性能损失的前提下显著减少了资源消耗。3 种方法的性能-成本折中关系如图 8 所示。

5 结束语

城市交通环境中车辆节点的不均匀分布造成了网络连通度的异质化,这给车载自组网中的数据分发带来了挑战。本文提出了一种节点密度自适应的数据分发策略,通过动态调整消息副本的跳数限制,有效地控制了消息在热点区域中的大量复制。仿真实验表明本文方法在传输成功率和时延方面与 epidemic 协议接近,但却有效减少了消息副本数,降低了网络负载。下一步,我们将在地理空间矩阵存储与交换方法优化以及跳数限制函数中参数 c 的合理取值方法等方面做进一步的研究和探索。

References:

- [1] Lee U, Magistretti E, Gerla M. Dissemination and harvesting of urban data using vehicular sensor platforms. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2008,58(2):882–901.
- [2] Yin J, Elbatt T, Yeung G, Ryu B, Havermas S, Krishnan H, Talty T. Performance evaluation of safety applications over DSRC vehicular ad hoc networks. In: *Proc. of the 1st ACM Int'l Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004)*. New York: ACM, 2004. 1–9.
- [3] Zhu H, Zhu Y, Li M, Ni L M. SEER: Metropolitan-Scale traffic perception based on lossy sensory data. In: *Proc. of the 28th IEEE Conf. on Computer Communications (INFOCOM 2009)*. Piscataway: IEEE, 2009. 217–225.
- [4] Lee U, Zhou B, Gerla M, Gerla M, Bellavista P, Corradi A. Mobeyes: Smart mobs for urban monitoring with a vehicular sensor network. *IEEE Wireless Communications*, 2006,13(5):52–57.
- [5] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks. Technical Report, CS-2000-06, Durham: Duke University, 2000.
- [6] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra CS. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: *Proc. of the 2005 ACM SIGCOMM*. New York: ACM, 2005. 252–259.
- [7] Zhao J, Cao GH. VADD: Vehicle-Assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. In: *Proc. of the INFOCOM 2006*. Piscataway: IEEE, 2006. 1–12.
- [8] Wu H, Fujimoto RM, Guensler R, Hunter M. MDDV: A mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks. In: *Proc. of the 1st ACM Int'l Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*. New York: ACM, 2004. 47–56.
- [9] Dousse O, Thiran P, Hasler M. Connectivity in ad hoc and hybrid networks. In: *Proc. of the IEEE Infocom 2002*. Piscataway: IEEE, 2002. 1079–1088.
- [10] Newman MEJ. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 2003,45(2):167–256.
- [11] Chung F, Lu LY. The average distance in a random graph with given expected degrees. *Internet Mathematics*, 2003,1(1): 91–113.
- [12] Keränen A, Ott J, Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation. In: *Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools)*. Rome: ACM, 2009.
- [13] Opportunistic networking environment (ONE) simulator. 2011. <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>
- [14] Piorkowski M, Sarafijanovic-Djukic N, Grossglauser M. CRAWDAD data set epfl/mobility. 2010, <http://www.crawdad.org>
- [15] U.S. Census Bureau. Topologically integrated geographic encoding and referencing (TIGER) system. 2011. <http://www.census.gov/geo/www/tiger>



杨卫东(1977-),男,内蒙古人,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究领域为无线自组织网络,信息安全.



刘伎昭(1981-),男,硕士生,CCF 学生会会员,主要研究领域为车载自组织网络,信息安全.



刘燕(1971-),博士,副教授,主要研究领域为计算机网络,软件工程.



邓森磊(1977-),男,博士,副教授,主要研究领域为 RFID,信息安全.



周新运(1979-),男,博士,助理研究员,CCF 高级会员,主要研究领域为无线传感器网络.

www.jos.org.cn

www.jos.org.cn