

混合 VANET 环境下一种改进的 GPSR 路由算法*

肖德贵⁺, 彭李翔, 宋丹, 李婷俐

(湖南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410082)

Improved GPSR Routing Algorithm in Hybrid VANET Environment

XIAO De-Gui⁺, PENG Li-Xiang, SONG Dan, LI Ting-Li

(College of Information Science and Engineering, Hu'nan University, Changsha 410082, China)

+ Corresponding author: E-mail: dgxiao@hnu.edu.cn, http://www.hnu.edu.cn

Xiao DG, Peng LX, Song D, Li TL. Improved GPSR routing algorithm in hybrid VANET environment. *Journal of Software*, 2012, 23(Suppl. (1)): 100-107 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/12011.htm>

Abstract: The rapid movement of vehicles which result in frequent changes in the position and speed of the vehicle usually leads to the wrong packet forwarding decisions in VANET. Combining V2V (vehicle to vehicle) and V2I (vehicle to infrastructure), a routing protocol named TGPSR-WI (traffic information aware algorithm based on GPSR with infrastructure) algorithm is proposed. This algorithm works on the principle that when static infrastructural nodes exist in a neighboring list, the neighbor which is closest to the destination will be selected as the next hop; otherwise, the moving direction and "lifetime" are used to filter hopeless candidates. Next, incorporate speed, vehicular density, etc. to select the optimal next hop node. Key data structures are designed and MOVE (mobility model generator for vehicular network) is used to construct typical Grid map urban simulation scenario. The protocol is simulated in NS-2 under the urban scenario and compared with GPSR-L and GPSR routing protocols. Experimental results indicate that the improved GPSR routing protocol performs better when packet delivery rate, average end-to-end delay are used as the performance metrics, and is better for VANET (vehicular ad hoc network) under urban scenarios.

Key words: VANET (vehicular ad hoc network); routing; GPSR; NS-2; MOVE (mobility model generator for vehicular network)

摘要: 车载自组织网络中车辆位置变化频繁,容易导致数据包的错误转发.结合 V2V(vehicle to vehicle)与 V2I(vehicle to infrastructure),提出一种基于交通信息感知的改进 GPSR 路由算法.该算法规定,当邻居列表中存在基站节点时,优先转发给基站节点,且根据传统 GPSR 算法进行转发;否则,算法先通过行车方向、邻居节点在有效通信范围内的生存时间筛选最优候选节点集,然后通过引入速度、车流密度等交通信息到 GPSR 中来确定最优候选节点,以提高数据转发的成功率.设计关键数据结构,利用 MOVE(mobility model generator for vehicular network)构造混合 VANET(vehicular ad hoc network)城市场景,在 NS-2 中进行仿真并与 GPSR, GPSR-L 进行比较.仿真结果表明,改进 GPSR 的包送达率、平均端到端时延指标都最优,更适合城市环境车载自组织网络.

关键词: 车载自组织网络;路由;GPSR;NS-2;MOVE(mobility model generator for vehicular network)

* 基金项目: 国家自然科学基金(61272062); 湖南大学青年教师成长计划基金(531107040047)

收稿时间: 2012-05-05; 定稿时间: 2012-08-17

车载自组织网络(vehicular ad hoc network,简称 VANET)被认为是一种特殊的移动自组织网络(mobile ad hoc network,简称 MANET),在智能交通系统(intelligent transportation system,简称 ITS)中扮演着重要的角色.由于车辆具有移动速度快、计算能力强、电量无限等特点,且真实城市环境特殊(如建筑物阻挡信号传输,立交桥,道路固定等),VANET 路由算法因具诸多挑战而成为研究热点.

目前,车载自组织网络中基于位置的路由算法成为 VANET 路由算法中的研究热点,因为此类路由算法能够充分利用 GPS(global positioning system)的定位功能,甚至能够利用 GIS(geographic information system)所提供的各种高级服务.由此可见,绝大多数基于地理位置的路由算法需要车辆装备有 GPS 定位装置.

GPSR^[1]是典型的基于地理位置的路由算法,此算法通过贪婪算法来建立路由,即总是将数据包转发给离目的节点最近的邻居,当节点本身就是离目的节点最近的节点(即当出现了局部最优的状态)时,GPSR 使用一种恢复策略——周围转发模式来解决局部最优的问题,GPSR 算法的路由过程需要将网络拓扑构造成平面图(planarized graph).DAR-RH(density aware routing using road hierarchy)^[2]将城市道路按照车流密度划分等级,因主干道车流密度大,DAR-RH 算法将其作为主干网,而其他车辆密度较小的街道作为接入网络.此外,DAR-RH 中节点同时维护两条路由信息,当其中的一条路由失败时,采用另一条备选路径进行数据转发.

ACAR^[3]能够自适应的选择具有最优通信质量的链路作为路由路径.算法包括两个部分:① 最优道路的选择,最优道路中包含许多街区信息,这些街区信息都维护一个附加的通信质量估计值;② 街区信息计算过程中,综合考虑车流密度等因素对网络连通性和数据转发成功率的影响,最终将会选择转发成功率和吞吐率最优的多跳路径.

DRIP^[4]算法采用一种分布式实时时延估计(distributed real-time delay evaluation scheme,简称 DRES)机制,该机制的要点是:车辆根据 DRES 对各路段网络时延的估计值,通过 Dijkstra 算法在电子地图上计算时延最短路径,并沿着该路径进行转发,同时 DRIP 使用暂存转发(carry and forward)方式减少丢包.

文献[5]改进了 GPSR 路由算法的周围模式,提出 GPSRJ+路由算法.文献[6,7]提出一个通过 lifetime 概念来解决速度对 GPSR 路由影响的算法.除此以外,文献[8,9]也对 GPSR 路由算法进行了改进.

文献[10]通过 MOVE 构造了 3 种典型的城市模拟环境,在此模拟环境下进行了 3 类典型路由算法(包括 GPSR 路由算法)的仿真研究,结论表明车辆密度对性能影响明显,多数情况下,性能随着车辆密度的增大而变好.

Zhao 等人提出了 VADD(vehicle-assisted data delivery)^[11]路由算法,该算法除了需要 GPS 提供基本的位置信息以外,还需要提供如平均车辆密度等历史交通流量的统计信息,通过载入这些信息以及对车辆移动的预测,就能够找到转发数据包的下一条路段,达到降低时延的目的.但在实际的车载网络环境中,每条路段的信息是随时间变化的,通过统计数据计算的结果并不一定能够反映出真实的最优路径而影响结果.针对该问题,文献[12]提出了一种解决方法,该算法通过分布式的方法获得各路段车流密度,若密度大于给定阈值,则认为该路段连通,否则认为该路段断开,该算法同样利用贪婪转发算法沿路径传递.

吴磊等人提出了 MDA(mobile distribution-aware data dissemination)^[13]算法.该算法建立了 VANET 下的订阅/发布模型,提出了一种基于移动分布感知的 VANET 数据分发策略,在该策略下,通过计算车辆与移动订阅者的相遇概率,预测订阅者的移动分布,据此调度广播令牌在网络中的转发,有效控制事件代理的分布,保证数据传递的有效性.实验表明,MDA 网络负载更低,数据转发成功率更高.

GeoDTN+Nav^[14]算法包含 3 种模式,即贪婪转发模式、周围转发模式和时延容忍模式,数据包的转发过程按照一定的条件可以在这 3 种模式之间自由切换.该算法延迟容忍网络^[15]有较好的性能.

李元郑等人^[16,17]提出一种新的基于竞争转发的路由算法,并对其转发关键参数进行了分析研究;钟婷^[18]等人提出一种高效的基于 VANET 实时交通信息的分发算法,该算法能更合理的利用带宽资源且具有更好的适应性.熊永平^[19]等人对机会网络进行了研究,该网络能够更好的满足 VANET 需求.

本文提出一种针对 VANET 的改进的 GPSR 路由算法,利用 MOVE(mobility model generator for vehicular network)^[20,21]构造一种典型的城市模拟环境——网格地图城市场景,将此场景导出成 NS-2 支持的脚本,在 NS-2 下编程实现改进的 GPSR 路由策略,并在此网格地图城市场景下进行仿真实验,考察包送达率与端到端平均时延,并与传统 GPSR 以及 GPSR-L 路由算法进行性能比较.本文第 1 节介绍 GPSR 路由算法的缺陷与本文改进 GPSR

的基本思想.第2节展示仿真实验及结果,并分析性能.第3节为结束语.

1 改进的 GPSR 路由算法

1.1 GPSR路由算法缺陷

1.1.1 运动方向引起的错误转发

VANET 环境中车辆的高速移动使得路径的有效时间变得很短,因此导致各路由算法的性能下降,GPSR 路由算法面临同样的问题,如图 1 所示,图中所有的节点沿着道路标明的箭头方向行驶,假设 S 信号覆盖圈内有 P,Q,X,Y 和 Z 五个邻居节点,若 t 时刻 S 欲发送数据包给目的节点 D,此时 Y 的行驶方向是远离目的节点 D 的,但 t 时刻 Y 和 D 的距离最近,按照 GPSR 路由算法,S 会将数据包转发给 Y,但是一段时间后,Y 逐渐远离 D,最终数据包被携带一段距离后丢弃,由此可见,未考虑方向因素的 GPSR 路由算法会错误的选择后继节点,从而增大丢包的概率.

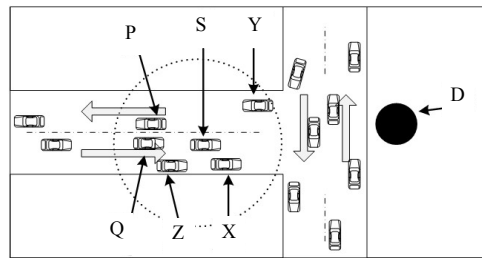


图 1 运动方向引起的错误转发示例

1.1.2 车流密度引起的错误转发

此外,如果城市的某一个路段如图 2 所示,设 A,B,C,D 分别代表图中的 4 个十字路口,若 t 时刻图中汽车 S 欲发送数据包给图中的停车场(图中用 P 图标表示)以查询停车场剩余车位数,按照 GPSR 路由算法,数据包将会转发给 AC 路段中的车辆 E,但是由于车辆 F 暂时没有可以转发的节点,车辆 F 会携带数据包至有可转发的节点或者到存储缓冲区满或携带时间超过设定时间的时候丢弃,由此可见,虽然车辆 F 离目的节点更近,但因为车道稀疏而导致丢包率或时延增大,且此时车辆 F 的朝着远离目的点 P 的方向行驶,同样存在图 1 所示错误转发的情况.事实上,虽然车辆的移动速度很快,但是仍远远比不上无线信号的传播速度,因此,VANET 中的数据包宜尽量采用无线转发的方式,而不是数据携带方式.

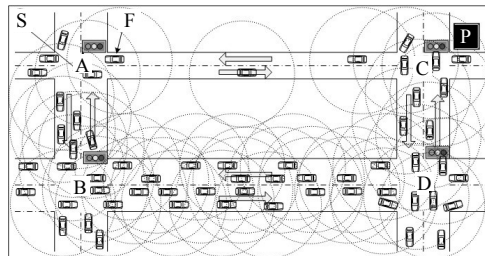


图 2 车流密度引起的错误转发示例

1.1.3 运动速度引起的错误转发

如图 3 所示,S 节点有 5 个邻居节点,分别是 P,Q,X,Y 和 Z,若 t 时刻 S 欲发送数据包给目的节点 D,按照 GPSR 路由算法的转发原则,X 将是 S 的下一跳节点,但是因为 X 的速度非常快,且处于 S 通信范围的边界处,故 X 很快驶出了 S 的通信范围,在收到下一个 hello 包之前,若 S 欲发送数据包给 X(因为此时 X 还在 S 的邻居表中),但实际上 X 节点此时已经行驶到了 L 处,造成了数据包的丢失.

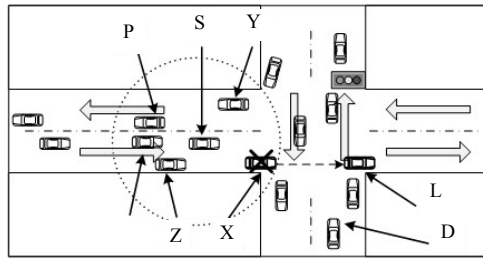


图 3 速度引起的错误转发示例

1.1.4 构造平面图引起的错误转发

根据平面图的构造方法,因为车辆无法自动判断障碍物的存在,不论使用 RNG 或是 GG 都有可能致网络拓扑被割断.以图 4 为例,X 是存在于 S,W 之间的有效节点,根据构造 RNG 图的原则将会去掉 S,W 之间的边,但实际上节点并没预测到 S,X 之间因为建筑物的存在而无法进行通信,从而导致因为 S 与 W 之间无法通信,网络的连通性受到影响.因此,平面图的构造有可能导致网络拓扑结构的意外割断.

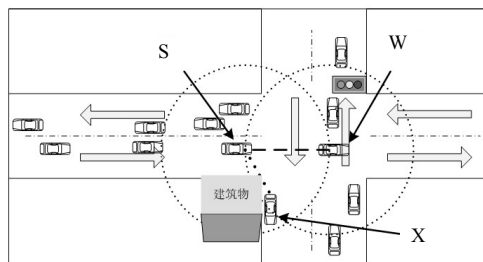


图 4 构造平面图导致的网络拓扑断裂

1.2 改进的 GPSR 路由算法

这里假设所有的车辆都装配有 GPS 定位仪,能通过 GPS 返回节点的地理位置信息.为了解决图 4 所示的错误,在每个路口均部署一个固定的无线射频收发器(将地理位置固化在节点记忆体内,发送 hello 包时自动赋值该位置),该射频收发器可以与交通信号指示灯集成在一起.将基站部署在十字路口处的好处是:(1) 十字路口两侧往往拥有建筑物,通信信号容易受到干扰,当数据包被发送到十字路口处时,数据包可能需要往 4 个方向进行分发,因此分岔路口往往又是路由决策的关键地点;(2) 在十字路口处部署路边固定通信基站为普通节点智能判断十字路口提供方法,当邻居节点中有通信基站节点时便说明节点已处在十字路口处或离十字路口距离很近.通常情况,路边通信基站通信能力更强、更稳定、且不受速度因素影响,因此需要将基站节点作为优先级更高的后继节点,基于这样的思路,针对第 1.1 节中 GPSR 路由算法的缺陷,本文提出一种基于交通信息感知的改进 GPSR 路由算法,命名为 TGPSR-WI(traffic information aware algorithm based on GPSR with infrastructure).

1.2.1 数据结构

算法中需要用的包格式或数据结构见表 1~表 3.

表 1 hello 包格式

| id | $x(t)$ | $y(t)$ | $v(t)$ | $\rho(t)$ | I_{type} |
|------|--------|--------|--------|-----------|------------|
|------|--------|--------|--------|-----------|------------|

表 2 邻居节点信息格式

| id_n | $x_n(t)$ | $y_n(t)$ | $\rho_n(t)$ | $v_n(t)$ | $x_n(t-\Delta t)$ | $y_n(t-\Delta t)$ | $I_{lifemax}$ | I_{type} |
|--------|----------|----------|-------------|----------|-------------------|-------------------|---------------|------------|
|--------|----------|----------|-------------|----------|-------------------|-------------------|---------------|------------|

表 3 临时候选路由列表节点信息格式

| id_p | $\rho_p(t)$ | $v_p(t)$ | $d_p(t)$ |
|--------|-------------|----------|----------|
|--------|-------------|----------|----------|

表 1 中, id 为本节点的 id 号,占 4 字节; $x(t)$ 为 t 时刻节点的 x 坐标,占 4 字节; $y(t)$ 为 t 时刻节点的 y 坐标,

占 4 字节; $v(t)$ 为 t 时刻节点速度, 占 2 字节; $\rho(t)$ 为 t 时刻节点的密度变量, 占 1 字节; I_{type} 字段占 2 个字节, 当 $\text{type}=0$ 的时候, 为路口射频收发器信号, $\text{type}=1$ 时, 为普通车辆, 当还有更多类型节点增加的时候, 该字段可方便扩展.

表 2 中, id_n 为邻居节点的 id 号, 占 4 字节; $x_n(t)$ 为 t 时刻该邻居节点的 x 坐标, 占 4 字节; $y_n(t)$ 为 t 时刻该邻居节点的 y 坐标, 占 4 字节; $v_n(t)$ 为 t 时刻该邻居节点速度, 占 2 字节; $\rho_n(t)$ 为 t 时刻该邻居节点的密度变量, 占 1 字节; $x_n(t-\Delta t)$ 为 $t-\Delta t$ 时刻该邻居节点 x 坐标, 占 4 字节; $y_n(t-\Delta t)$ 为 $t-\Delta t$ 时刻该邻居节点 y 坐标, 占 4 字节; $t_{\text{life max}}$ 占 2 字节, 代表 t 时刻该邻居节点的最大有效通信时间; I_{type} 字段占 2 个字节, 代表邻居节点类型.

表 3 中, id_p 为转发候选节点的 id 号, 占 4 字节; $\rho_p(t)$ 为 t 时刻该候选节点的密度变量, 占 1 字节; $v_p(t)$ 为 t 时刻该候选节点速度, 占 2 字节; $d_p(t)$ 为 t 时刻该候选节点到目的节点的距离, 占 2 字节.

1.2.2 路由策略

设 Δt 为 hello 包的发送周期时间, R 为每个节点的有效通信范围, 则详细的路由策略如下:

步骤 1: 所有节点通过 GPS 定位, 获取 t 时刻自身的坐标信息 $(x(t), y(t))$, 通过汽车速度表所获得的 t 时刻车辆速度 $v(t)$, 且所有车辆维护一个密度变量 $\rho(t)$, 此变量用于保存 t 时刻某个邻居节点所拥有的邻居节点个数, 可通过是否收到 hello 包来判断与周围节点的连通性, 然后对连通的节点计数维护该变量.

步骤 2: 各节点按照表 1 的格式构造 hello 包并广播出去, 邻居节点收到 hello 包以后, 按照表 2 的格式将邻居信息存入节点的邻居列表里, 邻居列表每 Δt 时间进行更新, 当有新的邻居加入时, 就在列表里添加新的邻居项或更新现有邻居项, 若没有收到列表中已有邻居的 hello 包则将邻居从邻居列表中删除.

步骤 3: 当某节点 t 时刻收到一个数据包需要转发或者该节点自身需要发送数据包时, 节点通过以下步骤进行转发:

(1) 遍历邻居节点列表中是否有 type 为 0 (即路口基站所发出的信号), 若有, 则将所有 type 为 0 的邻居节点转存到候选路由列表 (候选路由列表结构与表 3 一致), 而普通移动节点信息不转存. 此时, $v_p(t)$, $d_p(t)$ 均为 0, 且按照原始 GPSR 的贪婪模式进行转发, 若存在多个几何距离与目的节点相等的基站节点, 则转发给 $\rho_p(t)$ 更大的基站节点.

(2) 若邻居列表中不含 type 为 0 的节点, 则按照以下步骤进行转发:

① 从包头中获取数据包要传递的目的节点的坐标 $(x_d(t), y_d(t))$, 遍历整个邻居列表, 对每个邻居, 通过邻居列表中的 $(x_n(t), y_n(t))$ 信息, 由公式(1)计算出该邻居节点与目的节点连线与水平线的夹角 θ . 然后由公式(2)计算出 $t-\Delta t$ 时刻该邻居节点到目的节点的距离 $d(t-\Delta t)$ 与 t 时刻到目的节点的距离 $d(t)$, 令 $\Delta d = d(t-\Delta t) - d(t)$, 若 $\Delta d \geq 0$, 则认为此邻居节点运动方向靠近目的节点, 若 $\Delta d < 0$, 则认为当前节点远离目的节点.

$$\theta = \arctan[(y_d(t) - y_n(t)) / (x_d(t) - x_n(t))] \quad (1)$$

$$d(t) = \sqrt{(x_d(t) - x_n(t))^2 + (y_d(t) - y_n(t))^2} (\cos \theta + \sin \theta) \quad (2)$$

由公式(3)计算出该邻居节点离开本节点有效通信范围的最长时间 $t_{\text{life max}}$.

$$t_{\text{life max}} = 2R / |v(t) - v_n(t)| \quad (3)$$

② 按照表 3 的格式为本次路由开辟一个候选路由列表, 选择邻居列表中 $\Delta d \geq 0$ 且 $t_{\text{life max}} \geq \Delta t$ 的节点存入此临时候选路由列表中, 这些节点为本次路由的候选节点.

③ 遍历本次路由开辟的临时列表, 由公式(4), 计算临时路由表中每个节点 t 时刻的 $D(t)$ 值:

$$D(t) = \alpha \times [d / v_p(t)] + (1 - \alpha) \times [\pi R^2 / \rho_p(t)], \quad \alpha \in [0, 1] \quad (4)$$

其中, α 为权重值, 当车辆低速运行或处于特别稀疏的车道时, α 宜取较大的值; 反之则 α 宜取较小的值.

④ 最后遍历本次路由的临时列表, 计算出所有 $D(t)$ 值中的最小值 D_{\min} , 将此最小值对应的节点 id 号作为下一跳. 即 $D_{\min} = \text{Min}\{D(t)\}$;

$$\text{NextHop} = D_{\min} \rightarrow id.$$

⑤ 如果 $\text{Min}\{D(t)\}$ 值所对应的节点不唯一, 选择 $|v(t) - v_p(t)|$ 最小的节点进行转发, 因为 $|v(t) - v_p(t)|$ 最小的节点离开此节点的通信辐射范围最慢, 能够维持相对较长的通信链路寿命.

2 仿真实验

2.1 网格地图场景的构造

网格地图场景由十字路口与道路组成,属于城市中最基本的道路模型,网格地图场景具有连通性强,车辆拥堵与事故发生频率大等特点,而且该场景也与国内许多大中城市市区规划相符,因此研究此环境下的路由算法性能意义重大.网格地图场景如图 5 所示,其中左边为全景,右边为中间某一个交叉路口的放大图.

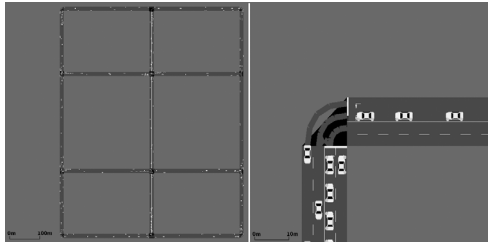


图 5 网格地图场景示意图

实验根据 MOVE 手册中的示例来构建网格地图场景,在十字路口处部署静态节点,场景的拓扑大小为 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$,道路车辆最高速度不超过 20m/s ,封包大小为 200byte ,CBR 数据流的速率为 16Kbps ,仿真时间为 100s ,MAC 层采用 IEEE 802.11,其他参数大多与示例中参数一致.

2.2 仿真结果分析

仿真中,取 $\alpha = 0.5$,在 MOVE 场景图里定义了一些车流(flow),随机选择了一些通信节点对进行通信,将从 MOVE 中导出的脚本在 NS-2 中进行了仿真,根据 NS-2 所生成的 trace 文件,可以得出以下数据图表,如图 6~图 8 所示.

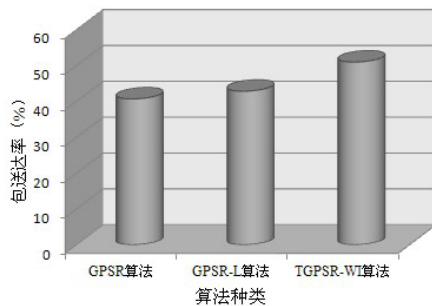


图 6 包送达率比较

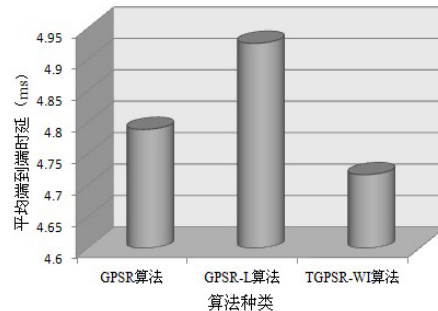


图 7 端到端平均时延比较

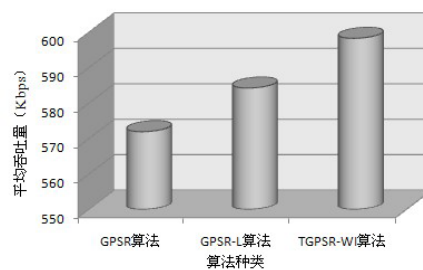


图 8 平均吞吐量比较

实验结果显示, TGPSR-WI 算法的包送达率以及平均吞吐量有了明显改善, 其中包送达率相对 GPSR 与 GPSR-L 提高约 7%~8%。同时, 路由算法的平均端到端时延也有了一定程度的减少。

算法中 $t_{lifemax}$ 计算借鉴 GPSR-L 中 lifetime 的概念, 但仅仅粗算该值(即最长的 lifetime 时间), 虽然是粗算, 但 $t_{lifemax}$ 与 Δd 仅仅是一个“汰劣”的过程, 因此, 这样的精度已经能满足应用的需要, 相对而言, $D(t)$ 值的选择则为一个“择优”的过程, 在这个过程中, 排除了不同方向的邻居节点后, 包总是转发给靠近目标节点, 且能够较早到达目标节点的“潜力”车辆, 虽然朝着密度较大的方向传递可能会导致以“绕道”的方式传送数据报文, 但是密度较大的方向可选择的后继节点多, 无线信号的传输速度远远快于车辆的行驶速度, 且城市环境的道路连通性强, 因此, 几何传输距离增加带来的影响不一定会导致时延的增加。特别对于广播性的消息(例如某地发生交通事故, 需要迅速通知其他车辆), 采用朝车辆密度较大的方向传递消息的策略, 能使更多的车辆从中获益。

在本文提出的 TGPSR-WI 算法中, 仅仅利用了 GPS 基本的定位功能, 而并没有使用其高级功能(如通过 GPS 中存储的地图信息进行计算最优路径, GIS 领域中多种高级功能等), 且只需要局部而非全局网络的网络拓扑结构, 因此, 在真实应用环境中此算法还有望获得更好的性能。

3 结束语

本文提出的 TGPSR-WI 路由算法, 在分析传统 GPSR 的基础上, 综合考虑了局部 GPS 信息和车辆的密度、运动方向、速度等因素, 改进了 GPSR 的贪婪转发策略。在 MOVE 构建的混合 VANET 场景中, 用 NS-2 仿真了 TGPSR-WI 路由算法, 并与 GPSR 以及 GPSR-L 路由算法进行了比较研究, 表明本文所提算法更适合车载自组织网络。

References:

- [1] Karp B, Kung HT. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In: ACM. Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM, 2000. 243-254.
- [2] Mouzna J, Uppoor S, Boussedjra M, Manohara PMM. Density aware routing using road hierarchy for vehicular networks. In: IEEE. Proc. of the Int'l Conf. on Service Operations, Logistics and Informatics (SOLI). IEEE, 2009. 443-448.
- [3] Yang Q, Lim A, Li S, Fang J, Agrawal P. ACAR: Adaptive connectivity aware routing protocol for vehicular ad hoc networks in city scenarios. Mobile Networks and Applications, 2010, 15(1):36-60.
- [4] Song C, Liu M, Gong HG, Chen GH, Wang XM. Distributed real-time information based routing protocol in vehicular ad-hoc networks. Journal of Software, 2011, 22(3):466-480 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3808.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03808]
- [5] Lee KC, Haerri J, Lee U, Gerla M. Enhanced perimeter routing for geographic forwarding protocols in urban vehicular scenarios. In: Proc. of the IEEE Globecom Workshops, 2007 IEEE. Washington: IEEE, 2007. 1-10.
- [6] Brahma N, Boussedjra M, Mouzna J. Mobility support and improving GPSR routing approach in vehicular ad hoc networks. In: IEEE New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2008). Tangier: IEEE, 2008. 1-6.
- [7] Rao SA, Pai M, Boussedjra M, Mouzna J. GPSR-L: Greedy perimeter stateless routing with lifetime for VANETS. In: IEEE. Proc. of the 8th Int'l Conf. on Intelligent Transport System Telecommunications. Phuket: IEEE, 2008. 299-304.
- [8] Hu YB, Xia WW, Song TC, Shen LF. An improved GPSR routing protocol applied in VANET. In: China Institute of Communications Youth Working Committee, ed. Proc. of the 14th National Youth Communication Conf. of China. Beijing: Electronic Industry Press, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [9] Wang YB, Wu TY, Lee WT, Ke CH. A novel geographic routing strategy over VANET. In: IEEE. Proc. of the 24th Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops. Perth: IEEE, 2010. 873-879.
- [10] Xiao DG, Peng LX. Simulation research of VANET routing protocols in real urban simulation scenarios. Journal on Communications, 2010, (9A):68-72 (in Chinese with English abstract).
- [11] Zhao J, Cao GH. VADD: Vehicle-Assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 2008, 57(3):1910-1922.
- [12] Lee KC, Le M, Härrri J. LOUVRE: Landmark overlays for urban vehicular routing environments. In: IEEE. Proc. of the 68th Vehicular Technology Conf. Calgary: IEEE, 2008. 1-5.

- [13] Wu L, Liu M, Wang XM, Chen GH, Gong HG. Mobile distribution-aware data dissemination for vehicular ad hoc networks. *Journal of Software*, 2011,22(7):1580–1596 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3871.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03871]
- [14] Cheng PC, Lee KC, Gerla M, Härrri J. GeoDTN+Nav: Geographic DTN routing with navigator prediction for urban vehicular environments. *Mobile Networks and Applications*, 2010,15(1):61–82.
- [15] Su JS, Hu QL, Zhao BK, Peng W. Routing techniques on delay/disruption tolerant networks. *Journal of Software*, 2010,21(1):119–132 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3689.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2010.03689]
- [16] Li YZ, Liao JX, Li TH, Zhu XM. A contention-based forwarding routing protocol for vehicular ad hoc networks in city scenarios. *Chinese Journal of Electronics*, 2009,37(12):2639–2645 (in Chinese with English abstract).
- [17] Li YZ, Liao JX, Li TH, Zhu XM, Zhang L. Analysis of key parameter of contention-based forwarding strategy for vehicular ad hoc networks in city scenarios. *Chinese Journal of Electronics*, 2011,39(5):1154–1158 (in Chinese with English abstract).
- [18] Zhong T, Qin ZG. Efficient traffic information dissemination algorithm based on ranking. *Journal on Communications*, 2009,30(8):1–9 (in Chinese with English abstract).
- [19] Xiong YP, Sun LM, Niu JW, Liu Y. Opportunistic Networks. *Journal of Software*, 2009,20(1):124–137 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3467.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03476]
- [20] Karnadi FK, Mo ZH, Lan KC. Rapid generation of realistic mobility models for VANET. In: *IEEE Proc. of the Wireless Communications and Networking Conf. 2007*. IEEE: Hong Kong, 2007. 2506–2511.
- [21] Lan KC, Chou CM. Realistic mobility models for vehicular ad hoc network (VANET) simulations. In: *IEEE Proc. of the 8th Int'l Conf. on ITS Telecommunications*. Venue Hilton Phuket: IEEE, 2008. 362–366.

附中文参考文献:

- [4] 宋超,刘明,龚海刚,陈贵海,王晓敏.基于分布式实时信息的车载网络路由协议. *软件学报*,2011,22(3):466–480. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3808.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03808]
- [8] 胡云斌,夏玮玮,宋铁成,沈连丰.一种应用于 VANET 的改进 GPSR 路由协议.见:中国通信学会青年工作委员会.第 14 届全国青年通信学术会议.北京:电子工业出版社,2009.
- [10] 肖德贵,彭李翔.真实城市模拟环境下车载自组织网络路由算法仿真研究. *通信学报*,2010,(9A):68–72.
- [13] 吴磊,刘明,王晓敏,陈贵海,龚海刚.移动分布感知的车载自组织网络数据分发. *软件学报*,2011,22(7):1580–1596. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3871.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03871]
- [15] 苏金树,胡乔林,赵宝康,彭伟.容延容断网络路由技术. *软件学报*,2010,21(1):119–132. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3689.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2010.03689]
- [16] 李元振,廖建新,李彤红,朱晓民.一种基于竞争转发的城市场景车载 Ad Hoc 网络路由算法. *电子学报*,2009,37(12):2639–2645.
- [17] 李元振,廖建新,李彤红,朱晓民,张磊.城市场景车载 Ad Hoc 网络竞争转发关键参数分析. *电子学报*,2011,39(5):1154–1158.
- [18] 钟婷,秦志光.基于排序的高效交通信息分发算法. *通信学报*,2009,30(8):1–9.
- [19] 熊永平,孙利民,牛建伟,刘燕.机会网络. *软件学报*,2009,20(1):124–137. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3467.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03476]



肖德贵(1972—),男,湖南南县人,博士,副教授,主要研究领域为智能视觉计算,嵌入式与网络计算,可视化.



宋丹(1988—),女,博士生,主要研究领域为汽车主动安全.



彭李翔(1987—),男,硕士,主要研究领域为分布式系统,网络计算.



李婷婷(1988—),女,硕士,主要研究领域为计算机图形图像处理.