

VANET 中路由协议分析

吴振华, 胡鹏

(南昌航空大学 软件学院, 江西 南昌 330000)

摘 要: 分析目前大多数 VANET 路由算法, 将其归类为基于位置的贪婪路由算法、基于锚节点路由算法、基于街道集路由算法和基于簇路由算法, 并着重于这些特点设计每类算法, 通过 NS2 仿真实验对比和分析, 为进一步的研究提出新的课题。

关键词: VANET; 综述; 贪婪算法; 锚节点; 分簇; 路由

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

Analysis on VANET routing protocols

WU Zhen-hua, HU Peng

(School of Software, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330000, China)

Abstract: Many present VANET routing algorithms were carefully analyzed and the result turned to classify into 4 classes: location based greedy routing algorithm, anchor node based routing algorithm, street row based routing algorithm and cluster based routing algorithm. Characters for each kind of algorithm were implemented and compared to each other by using the NS2. The experiment data and analysis result will provide a new subject for further research of VANET routing.

Key words: VANET; overview; greedy routing algorithm; anchor node; cluster; routing

1 引言

车联网在智能交通 (ITS) 上有着重要的意义。通过车联网的研究, 将会改善拥挤的路况, 对车辆安全、交通事故侦查等都有很大帮助。在城市发展智能交通研讨会中指出车联网技术可使交通堵塞减少约 60%; 短途运输效率提高近 70%; 现有道路网的通行能力提高 2~3 倍^[1]。同时车联网技术为现有的车辆定期检查、排放控制、走私车及套牌车查处、盗抢车追踪等管理工作, 提供了更加简单、快速、高效的手段。车联网技术也在协助驾驶、交通信息收集、辅助交通管理、用户通信管理等领域应用广泛。随着车联网的应用需求近年兴起了很多相关项目, 如欧盟 CarTalk2000、SAFESPOT、CVIS; 美国 PATH、EEE P1609、ISO TC204 WG16/CALM 等。

VANET (vehicle ad-hoc network) 是一种以汽车为节点的多跳自组织系统, 是移动自组织网络

(MANET) 在交通上的应用。由于车辆的移动速度快, 拓扑结构易变, 无线信道不稳定等特点, 使通信中的多普勒效应较之其他慢速移动和静态无线网络严重。并且在真实道路环境中, 无线信号受到复杂环境影响, 易发生多径衰落现象^[2]。这些原因使传统的物理层无线传输协议, 在 VANET 中有一定的局限性。针对 VANET 的特殊环境, 2010 年 IEEE 提出了新的标准体系结构^[3-5]。如图 1 所示, 包括 1609 协议栈和 802.11p 协议。1609.1 规定应用层界面接口标准; 1609.2 针对车联网的安全做出规定; 1609.3 规定网络层的标准; 1609.4 规定 LLC、MAC、PHY 层标准, 并且美国联邦通信委员会(FCC)将通信频率在 5.855~5.925 GHz 之间的频谱分配于车联网通信。其中包括 7 个信道, 每个信道带宽为 10 MHz, 数据率能达到 3~27 Mbit/s^[6]。802.11p 通信协议规定通信距离达到 1km, 能够满足达到 33 m/s 移动速度的节点^[7]。

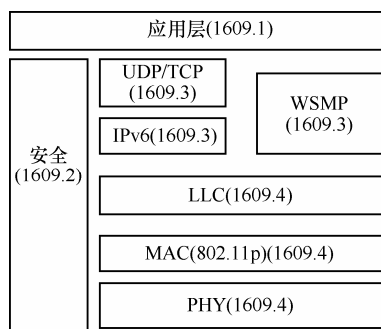


图 1 IEEE 车联网体系结构

2 VANET 路由面临的问题

VANET 通信主要表现在车与车 (V2V, vehicle-to-vehicle) 之间的通信以及车与路边基础设施 (V2I, vehicle-to-infrastructure) 之间通信。V2I 的通信一般通过 RFID (radio frequency identification) 或 Wi-Fi 来实现。对于 V2I 不在一跳通信范围内的, 则需要通过 V2V 进行转发, V2V 的通信则较为复杂。由于 V2V 通信中的节点是高速移动的汽车, 其移动方向、速度和地理位置都不断发生变化, 以及 VANET 的运动场景复杂, 节点分布不均匀, 这些特性使路由存在以下问题。

1) 路由表有效期短。在拓扑结构频繁变化的 VANET 中。中继节点在通信范围内的时间很短, 使链路断裂频繁, 路由表有效期极短。目前缓解这类问题的方法是基于位置的贪婪算法, 该算法能有效地降低对中继节点的敏感性, 但仍不能从根本上解决路由表的有效性问题。

2) 路由发现开销大。由于路由表的有效期限, 使路由发现变得频繁, 增加了路由发现开销。目前在优化路由发现开销的算法中, 基于簇的路由算法较为普遍, 分簇能够有效地降低路由发现过程中冗余数据分组, 但是分簇的策略和簇维护的开销也将成为新的问题。

3) 链路质量不稳定。由于车辆快速频繁移动导致通信中的多普勒效应严重, 在复杂的城市场景中, 信号多径衰落现象也将增加, 这些使链路质量变得很不稳定。通过车辆移动规律, 基于街道进行路由数据传输, 可以有效地降低链路不稳定, 但街道中车辆信息的实时获取将成为新的问题。

4) 数据分组存储携带时间长。城市场景中, 车辆移动在不同时间段, 移动具有不同的规律, 如在上班高峰期, 车辆集中于产业区, 而下班高峰期车辆则集中于居民区, 这使节点分布很不均匀, 网络

分区现象严重, 导致数据分组存储携带时间长, 增大数据分组交付延迟, 并且降低数据分组的交付率。

如何保证源节点和目的节点间的有效通信是待解决的关键问题之一。因此, VANET 的路由问题得到了学术界和工业界的普遍关注。本文对现有具有代表性的多数 VANET 路由协议进行分类分析和实验对比。实验结果表明, 它们在适用场景、性能侧重等方面具有各自的特点。

3 VANET 路由协议分类

近年来, 国内外在对 MANET 路由问题的研究基础上, 结合 VANET 自身特点, 已经提出了很多具有实用价值的思想和方案。

范存群等提出一种提供高吞吐量的路由算法 CRCN^[8], 通过对 DSR^[9]路由协议改进, 提高数据的交付率和网络吞吐量。但是在密集 VANET 网络中, 这种利用其他节点进行数据分组多重转发, 显著增加数据分组碰撞率和节点负载, 将导致网路阻塞。文献[10]中提出的 QLAODV 路由算法, 是 AODV 的改进算法。通过添加 Q_Learning 算法来确保路由的稳定性。该算法在拓扑表的维护上有所改进, 但增加了拓扑维护的开销。在 AODV 上改进的路由算法还有 DAODV (基于位置和移动方向), AODV-DHCP (在链路断裂上改进) 路由算法, 它们在链路质量上都有优化, 但是在路由开销和维护上没有改善。CAREFOR^[11]算法利用 ping 协议获取节点的密集度, 并通过车辆密集度量数据分组的碰撞率, 实现降低数据分组的碰撞, 提高数据分组交付率的目的。

尽管上述算法已经针对 VANET 的特点做了相应改进, 但在完全适应 VANET 上还存在较多不足: 如拓扑结构不稳定、路由表有效时间短、链路断裂频繁、路由开销大等。

针对 VANET 提出的路由算法也越来越多, 从不同的角度可以将路由算法进行不同的分类。根据 VANET 的应用需求, 可分为延迟容忍路由和非延迟容忍 2 类路由算法^[12]。延迟容忍路由有 CMGR^[13]、SADV^[14]、D-greedy 和 D-MinCost^[15]等。非延迟容忍路由有 GPSR_L^[16]、VRP^[17]、LOUVR^[18]等。本文根据 VANET 路由算法的特点, 将现有协议分成以下 4 类: 1) 基于位置贪婪路由算法 (LGBRP); 2) 基于为簇路由算法 (CBRP);

3) 基于锚节点路由算法 (ABRP); 4) 基于街道集路由算法 (SBRP)。

3.1 基于位置的贪婪路由算法

在 VANET 中, 通过 GPS 获取位置信息更加准确, 因此通过目的节点的位置去寻找路由, 可以在一定程度上降低对中继节点移动的敏感性, 提高路由表的有效期。

Bilal M 等^[19]提出 FMHR 算法, 是 GPSR 优化版。该算法在基于贪婪算法选择最远的下一跳同时, 还考虑到下一跳的运行速度和运行方向, 增加了链路的相对稳定性。但文献[20]中指出车辆的运行方向很难精确确定, 这也将大大增加计算负载和额外开销。KMCT^[21]也是基于位置的贪婪路由算法, 但它们的策略不同, KMCT 是通过车速和方向预测中继车辆与目标车辆可保持最大的通信时间来选择下一跳, 它们优化了基于贪婪算法在链路质量上的缺点。

罗涛等在文献[22]中提出 ACR-BA 广播路由协议。该协议通过地理位置划分候选节点集, 通过 RTF/ATF 2 种控制分组和贪婪算法选举唯一广播转发节点。该算法利用节点集的划分, 降低了冗余广播分组的数量。但是在选举唯一中继节点时采用退避等待策略以及 2 次握手等策略, 将增加广播的延迟, 并且该协议只适用于简单的直道场景, 对于复杂的城市街道难以实现。

RRMLI^[23]是在路由恢复中改进的路由算法, 在源节点和目的节点连接断开时, 利用已知的目的节点位置信息, 利用贪婪算法沿着源到目的节点方向发送 RREQ 消息分组, 进行路由修复。替代广播泛洪寻找路由的算法, 降低了路由修复开销。文献[24]中 MOVE 和文献[25]中 Geopps 都是通过预测下一刻节点的位置, 选择更合适的下一跳携带转发数据分组。在文献[26]的 GFG、GOAFR 和文献[10]的 EBGR 都是基于位置的贪婪路由协议。

单纯基于位置的贪婪路由协议, 不适用于稀疏的网络场景与复杂的 VANET 场景, 由于复杂的街道和建筑群严重阻挡了信号的传输, 这些都将导致路由空洞或路由环路现象。也有很多文献提到解决这些问题的方案, 如右手规则、DFS(深度优先遍历)^[26]、PBR(基于预测路由)^[27], 但是这些都不能很好地解决稀疏场景下的数据分组交付率和延时问题。

3.2 基于分簇路由算法

分簇路由是依据簇进行节点管理和数据转发,

降低路由发现开销和广播风暴风险, 同时增加了网络有效吞吐量。

胡升泽等在文献[28]中提到的 LEACH 算法是经典的分簇算法, 为降低单个簇首的负担, 周期性地选择簇首。由于 VANET 中节点移动的频繁, 簇首也在不断更换中, 因此该算法在 VANET 中将增加簇首的震荡, 增加网络开销。在 VANET 中基于分簇的路由算法簇划分是研究的重要方向。APROVE^[29]分簇算法, 利用相似传播算法, 将移动相似的节点划分一组, 优化了分组的有效时间。ROMSGP^[30]路由算法, 同样是利用了移动相似性进行簇划分, 通过将场景中节点移动方向归类为 4 种, 周期更新节点的移动方向, 对于方向一致的邻居节点归类为同一个簇。以上 2 类算法优化了簇的有效时间, 但是在动态的 VANET 中, 簇成员变换频繁, 簇维护开销相对增加。CBDRP^[31]和 GvGrid^[32]利用网格进行簇划分。簇位置相对静止, 优化了簇维护开销复杂度。而 CBDRP 是针对高速公路场景设计的; GvGrid 是为固定源节点的城市场景设计的, 它们可扩展性差。还有一些针对特殊场景提出的分簇算法, 如 MOHANMODE^[33]提出一种应用于荒漠场景的 CBVRP 分簇路由算法。文献[34]中提出一种对能耗问题进行了优化的 MLCRA 分簇算法。

在簇的形成过程中, 如何有效地适应网络连通性是分簇路由协议需要解决的一个重要问题。如果簇首之间不可达, 将可能导致网络分离现象。对于拓扑结构易变的 VANET, 维护簇稳定使网络额外开销增加。同时基于簇的路由算法在对簇首的依赖性较强, 如何有效地组建稳固的簇和选择合适的簇首是当前许多学者研究的焦点。

3.3 基于街道集的路由算法

在 VANET 中, 节点移动的规律主要是沿着街道移动, 具有可预测性。因此数据基于街道转发, 可以增加链路的稳定性, 减少链路中断率。

在文献[35]中提出 VADD 路由算法利用街道地图, 去预测分组的交付延时。选择合适的街道集作为路由路径。该算法对路段信息没有实时和准确的分析, 存在路由空洞风险。而实时获得路段信息是 VANET 中的一个难点, Nzouonta J 等在文献[26]中提出 RBVT-P 和 RBVT-R 根据路段中节点密集度和交通流等信息, 选择最优的路径作为数据转发路径。在 RBVT-P 中, 通过节点周期广播获取路段中节点信息; 而 RBVT-R 则是在节点需要发送数据分

组时,利用广播分组搜集路段中节点信息。这些算法对路段信息进行了实时获取,增加了网络额外开销问题。Yang Q 等^[24]提出 ACAR,通过数据分组转发过程中动态记录街道集的信息,选择最佳传输质量的路段作为路由路段。该算法中对路段信息获取的准确和实时性依赖于场景中数据分组数量和传输方向。不适用于稀疏场景下。在文献[36]提出 CBRF 和 CLGF,根据在路由发现的过程中统计街道密度选择转发路径。由于路由发现过程中记录的信息维持时间短,导致生成的路由表有效期短,进而增加路由发现开销。

基于街道集路由算法,需要实时准确地获取街道信息,否则单纯的基于街道集去转发数据,可能因为空洞现象使数据不可达。在拓扑结构易变的 VANET 环境中,对于街道情况难以实时掌握。因此准确实时地获取街道信息是一个难题。

3.4 基于锚节点的路由算法

基于锚节点的路由算法是一种依靠路边单元或具有简单移动规律的节点进行数据存储携带转发的算法,该类节点在下文中被称为锚节点。通过锚节点进行数据分组转发能够改善在稀疏场景中由于网络分离导致的数据不可达的问题。

Saleet H 等^[37]提出 IGRP 协议,通过在路口设置网关,由网关利用 RLSMP(基于区域的本地服务管理协议)对附近的车辆信息进行管理。在源节点不能和目的节点通信时,将数据交付于附近网关,由网关进行存储转发。Naumov V 等在文献[38]中提出 CAR,利用贪婪算法和路口的锚节点进行数据分组的转发。这些基于锚节点分布式路由算法,对锚节点依赖性强,在一个区域中若锚节点损坏或阻塞,将导致整个区域网络瘫痪。文献[27]中 BBRP 同样通过在路口锚节点进行数据存储转发,该算法运用 PBR 协议机制,去预测候选节点,确保路径稳固。文献[12]中提出 ABCAR 协议,应用于稀疏和密集网络场景。在密集网络中,假设网络是全连接的,利用路口锚节点进行数据转发;而在稀疏场景中,将通过公交等固定车辆路线,选择合适的车辆作为锚节点,利用公交车存储携带数据分组。这类算法还有文献[24]中提到 SKVR 也是利用公交车的已知路线,对数据进行携带转发。

张扶桑等在文献[39]中提出一种公交车车自组织网络的路由机制 Vela,利用公交车的历史移动轨迹挖掘公交车运行的时空规律。移动车辆利用公交

车网络进行数据传输,数据首先被交付于公交车,然后由公交车利用 Dijkstra 算法将数据交付于目的路段上的公交车,目的路段为目的车辆可能经过的路段,最后交付于目的车辆。该机制有效地利用了公交车移动规律性,对数据分组进行了存储携带转发,然而该算法只适用于静态的源或目的车辆,因为在动态的 VANET 中,利用公交车存储携带数据分组无疑增加了数据分组交付延迟。在数据分组转发过程中,目的车辆可能已经离开目的路段,导致数据分组无法交付。

该类算法对锚节点依赖性大,易产生路由空洞和网络阻塞,这种先选择锚节点,再选择下一跳的分布式路由算法,将增加路由跳数和时延。

4 典型算法设计

算法中的主要变量说明如表 1 所示。

变量名	变量说明
<i>rt_expire</i>	路由表生命期
<i>nb_expire</i>	邻居生命期
<i>max_speed</i>	节点最大速度
<i>speed</i>	节点平均速度
<i>R</i>	通信范围
<i>hello_intval</i>	hello 发送周期
<i>(dstx, dsty)</i>	目的节点位置
<i>(nb_x, nb_y)</i>	邻居节点位置
<i>(nb_dx, nb_dy)</i>	邻居速度矢量
<i>now_time</i>	当前时间
<i>(nx, ny)</i>	预测邻居节点位置
<i>nb_addtime</i>	添加邻居时间
<i>(sx, sy)</i>	节点位置
<i>min(a, b)</i>	选取 <i>a</i> 与 <i>b</i> 中最小值
<i>radom(a, b)</i>	随机选取 <i>a</i> 到 <i>b</i> 之间的值

综上所述,目前路由算法设计主要包括基于位置的贪婪路由算法、基于分簇路由算法、基于街道集路由算法、基于锚节点路由算法。

本文将针对于这些基本特点,提出分别代表这 4 种策略的路由算法。通过对这 4 种算法实验仿真结果进行研究分析,提出目前基于这 4 类算法的路由协议研究趋势。

4.1 基于位置的贪婪路由算法设计

该算法的路由发现过程与 AODV 的相同,在请

求分组和回复分组中添加节点位置信息。

数据在转发过程中, 将目的节点的 ID 与位置信息添加在数据分组头, 中继节点在收到数据分组之后, 根据分组头中目标节点位置, 利用贪婪算法寻找下一跳。由于目的节点位置是在不断变换, 且路由表的有效期会保持一段时间, 因此会导致一段时刻过后, 目的节点已经不在路由表所指示的目的位置, 而下一跳的选择中还需要预测目的节点是否已在目的范围内。

默认路由表的有效时间 $rt_expire = now_time + \frac{\alpha R}{max_speed}$, 在下节的实验中 α 取 0.5。通过式(1)预测当前自己位置与路由表中指示的目的位置最大距离 d , 若 $d < R$, 则下一跳直接选择目的节点, 否则, 再根据贪婪算法选择其他更合适的邻居节点。

$$d = \alpha R + \sqrt{(sx - dstx)^2 + (sy - dsty)^2} \quad (1)$$

4.2 基于分簇的路由算法设计

1) 簇划分

根据携带的城市电子地图, 沿着街道每间隔 w m 划分为一个簇。 $w = \frac{R}{2}$ 。街道不足 w m 的, 以实际街道长度为簇大小。在对整个场景划分完成后, 所有簇大小都是小于 w m, 邻居簇之间的所有节点间距离小于 R , 因此邻居簇之间可以直接通信。

2) 簇首选择与维护

初始化过程中, 所有节点发送一个 hello 分组, 分组中携带预测自己在该簇中的时间 tc (如式(2)所示); 然后所有节点根据在簇中时间最久的原则, 选举出簇首。初始化结束, 簇首会周期发送 leader 分组, 通告簇成员和邻居簇成员, 该簇首仍然有效。并且簇成员周期发送 hello 分组, 周期 $hello_intval$ 如式(3)所示。发送 leader 和 hello 分组的周期 $send_intval$ 式(4)所示。

$$tc = \frac{d}{speed} \quad (2)$$

$$hello_intval = radom(MIN_TIME, MAX_TIME) \quad (3)$$

$$send_intval = \begin{cases} tc & , tc < hello_intval \\ hello_intval & , tc > hello_intval \end{cases} \quad (4)$$

其中, d 为节点距离簇边界距离, 在下节中 MIN_TIME 为 7.5 s, MAX_TIME 为 15 s。

若簇首在周期刷新自己位置时发现自己离开了原簇, 则在簇成员中选举出在该簇中有效期最久

的节点作为下一任簇首, 并将自己的路由表转发到该节点, 然后单跳广播 leave 分组, 宣告自己不再是簇首, 和下一任簇首信息。

若有节点在 2 个周期内没有收到簇首的 leader 分组, 则将自己设置为簇首。因此有可能一个簇中出现多个簇首, 在这种情况下, 通过比较在簇中有效时间, 确定簇首。

3) 路由发现与数据转发

当有节点需要发送数据分组时, 首先将数据交付簇首, 如果自己是簇首, 则查找路由表, 若没有路由, 则启动路由发现过程。在中继节点接收到 RREQ 分组, 只有簇首处理该分组, 处理过程与 AODV 相似, 若簇首中含有目的节点信息, 则直接回复 RREP 分组。

回复 RREP 与转发数据分组过程相同, 基于贪婪算法, 优先选择簇首, 如果没有合适的簇首, 则选择合适的邻居节点, 直到数据分组或 RREP 交付于目的节点。

4) 路由表维护

由于邻居簇之间可以直接通信, 因此当数据分组被交付于目的簇中, 即使目的节点已经离开了原簇, 但还在邻居簇中, 也可以通过一跳到达。因此路由表的时间 rt_expire 为目的节点在原簇中的时间 $t1$ 加上在邻居簇中的时间 $t2$, 如式(5)所示。路由表失效之后, 将重新启动路由发现过程。

$$\begin{cases} t1 = \frac{d}{speed} \\ t2 = \frac{w}{max_speed} \\ rt_expire = t1 + t2 \end{cases} \quad (5)$$

其中, d 表示当前节点距离簇边界距离。

4.3 基于街道集的路由算法设计

1) 路由发现

同样, 路由发现过程与 AODV 相似。不同的是在请求分组中携带了源节点所在路段信息, 以及预测源节点在该路段上的有效时间, 预测机制见 4)。在目的节点接收到请求分组之后, 将目的节点信息存储到路由表中, 然后生成 RREP 回复分组, 利用 3)对 RREP 分组进行转发。

2) 邻居预测

由于邻居节点的位置在不断变化, 因此通过周期 hello 分组, 交换邻居信息, 并通过式(6)对邻居

位置进行预测, 以降低下一跳链路断裂和路由环路
的概率。

$$\begin{aligned} nx &= nb_x + nb_dx(now_time - nb_addtime) \\ ny &= nb_y + nb_dy(now_time - nb_addtime) \end{aligned} \quad (6)$$

若 $D > R$, 则认为该邻居失效, 离开了通信范围,
将该邻居移出邻居表。

$$D = \sqrt{(sx - nx)^2 + (sy - ny)^2} \quad (7)$$

3) 数据分组转发

首先根据路由表中目的节点路段信息, 利用
Dijkstra 算法生成最短路径。该路径是由最短街道
集组成, 然后分布式选择每条路段上邻居节点作为
下一跳, 下一跳选择根据贪婪算法, 从邻居列表中
选择距离下一段街道最近的邻居节点作为下一跳。

4) 路由表维护

路由表生命期 rt_expire 是通过预测目的节点在
目的路段时间。

$$rt_expire = \frac{d}{speed} \quad (8)$$

其中, d 表示节点到达路口的距离。

通过周期刷新路由表, 若路由表有效时间过
期, 则将该路由表设置为无效, 在下次需要发送数
据分组时, 重新启动路由发现过程。

4.4 基于锚节点路由算法设计

假设在道路场景中, 每个路口都存在一个锚
节点。

1) 路由发现

路由发现过程同样是基于泛洪方式进行, 在请
求分组和回复分组中, 添加该节点的位置信息, 以
及在 4) 中提到的路由表生命期信息。

2) 邻居表维护

邻居表中信息通过周期广播单跳 hello 分组获
得, 分组中携带该节点位置信息以及节点标识 (锚
节点/车辆节点), 邻居表有效期 nb_expire 预测为

$$nb_expire = \begin{cases} now_time + \frac{(R-d)}{\max_speed}, & n=1 \\ now_time + \frac{R-d}{2\max_speed}, & n=0 \\ +\infty, & n=2 \end{cases} \quad (9)$$

其中, n 表示邻居和自己属于锚节点的个数; d 为
当前与邻居的欧式几何距离。

通过周期刷新邻居表, 如果 nb_expire 大于当

前时间, 则将该邻居移出邻居表。

3) 数据转发

数据转发分为 2 个步骤: ①根据目的节点位置
信息, 选择距离目的位置最近的锚节点作为目的区
域; ②在邻居表中优先寻找距离目的区域最近的锚
节点作为下一跳转发节点。若没有该锚节点, 则利
用贪婪算法选择其他邻居节点作为下一跳, 直到数
据分组被交付于目的区域的锚节点, 再由该锚节点
交付于目的节点。

4) 路由表维护

由于数据传输是经过锚节点到达, 则路由表有
效时间为目的节点在锚节点通信范围内的时间。利
用节点移动的有规律性, 节点的移动一定是在 2 个
锚节点之间。通过预测该节点在该路段上的时间 $t1$
与离开路段并还在锚节点通信范围内的时间 $t2$ 之
和作为路由表的有效时间 rt_expire 。

$$\begin{cases} t1 = \frac{d}{speed} \\ t2 = \frac{R}{\max_speed} \\ rt_expire = t1 + t2 \end{cases} \quad (10)$$

其中, d 为节点即将到达下一锚节点的距离。

5 典型算法性能分析比较

实验场景是模拟南昌市红谷滩新区部分地图。
模型如图 2 所示, 其余参数设置如表 2 所示。

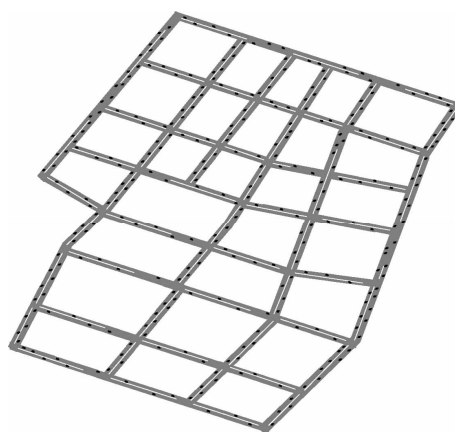


图 2 仿真场景模型

在 cbr 数据分组大小为 512 byte, 发分组频率
为 5 packet/s 的场景下, 对随着节点数量的增加,
分组的交付率、延时、跳数、路由开销进行性能评
估分析如下。

5.1 数据交付率

所有算法都没有进行存储携带,因此在初始阶段是没有路由表信息,导致开始过程会有数据分组丢失。如图 3 所示,所有算法的交付率都不能达到 100%。节点数量在 300~700 时,这 4 个路由算法交付率达到相对稳定。在节点数量较低时,由于网络分离,导致大量数据分组不能被交付,因此数据分组交付率下降,其中基于街道集的路由协议 SBRP 影响最大。因为 SBRP 算法对街道链路质量预测十分重要,若没有选择合适的街道进行数据转发,容易导致路由空洞现象,在稀疏场景中这种现象将更加明显,但随着节点数量的增加,可以看出 SBRP 的交付率会越来越高。因为在密度大的情况下,网络趋向于全连通状态,因此,此时对数据分组交付率影响主要因素是单跳链路质量。SBRP 通过街道进行数据传输,链路质量相对稳定,而其他 3 个路由协议,随着节点数量超过 700 时,交付率都开始出现下降趋势。这是由于节点数量的增加,信号的干扰严重,导致链路中断现象严重,因此数据分组不能正确交付。随着节点数量的增加,CBRP 的簇维护开销急剧增加,网络阻塞严重,簇首负载也相应增加,严重影响数据分组交付,可以看出 CBRP 的交付率下降最快。而 LGBRP 利用贪婪算法选择最远的距离传输,在节点数量增加的情况下,距离越远,信号干扰衰减的越严重,链路质量越差,因此数据交付也有明显的下降。基于锚节点的路由 ABRP,相对于其他算法交付率较高。由于通过锚节点进行数据传输减少了路由空洞的现象,并且锚节点相对静止,链路质量稳定,所以分组丢失率会较低。

综上所述,基于位置的贪婪路由算法,在交付率上主要影响因子是链路质量,利用最远距离的节点传输数据分组,在密集场景下,反而增大了链路中断的风险,因此在基于位置的基础上,优化链路质量,是该类算法的发展趋势。而基于簇的路由协议,在节点密集度增加的情况下,交付率同样下降明显,由于节点数目的增加,簇首负载增加,有效地控制簇维护开销,降低网路负载,对数据分组的交付率将有很大改善。基于街道集的路由算法,对街道中节点信息要求苛刻,实时准确地获得街道中节点信息,将对数据交付起到至关重要的作用,基于锚节点的路由算法主要弊端就是 RSU(路边单元)开销大。

表 2 仿真环境参数设计

参数名	参数值
车辆数量	100~900
车辆移动速度大小	5~20 m/s(18~72 km/h)
场景	南昌市红谷滩新区 (3×3.6 km ²)
通信范围	1 km
MAC 协议	802.11ext
仿真时间	600 s

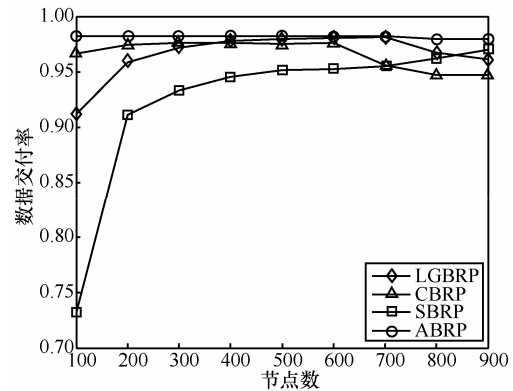


图 3 数据交付率

5.2 数据交付延时与平均跳数

在非存储携带的路由算法中,数据分组的延时主要取决于数据分组传输过程中的跳数以及单跳的时间。从图 4 和图 5 中可以看出,时延与平均跳数基本保持一致。

在图 5 中,可以看出基于簇的路由协议 CBRP 延时最大。由于 CBRP 在数据转发过程中首先选择簇首,增加了数据传输的跳数;其次是基于街道集的路由协议 SBRP 要求数据分组沿着街道进行传输,虽然提升了链路质量,但是每一条的距离变得更小,增加了跳数,导致时延增加。基于贪婪算法的 LGBRP 和 ABRP 的时延会相对较小,由于贪婪算法总是寻找欧式距离最短路径进行数据转发,因此跳数最少,时延最小。ABRP 基于锚节点进行数据转发,由于锚节点的辅助转发,增加了更多合适的下一跳,减少了跳数和时延,并且降低了路由环路和空洞的风险,使跳数和时延比 LGBRP 更低。

由于 CBRP 和 SBRP 是优先选择簇首和距离下一街道上更近的节点,若无这类节点,则会根据贪婪算法选择其他更远的邻居节点。随着节点数量的增加,邻居表中可供选择的簇首和合适的下一跳增多,利用贪婪算法的概率将降低,因此在节点数量增加的情况下,改善了链路质量,但增加了跳数和时延。

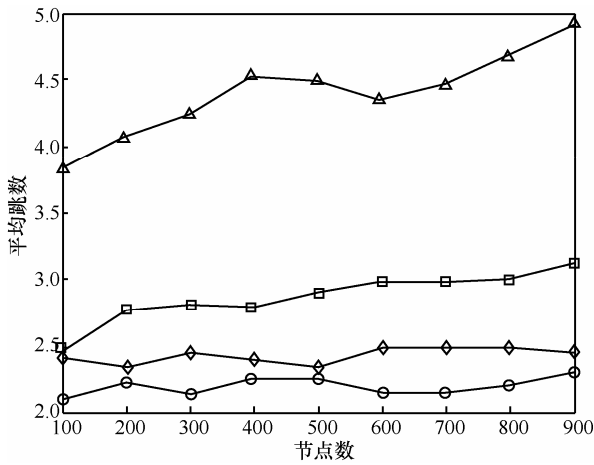


图 4 端到端平均跳数

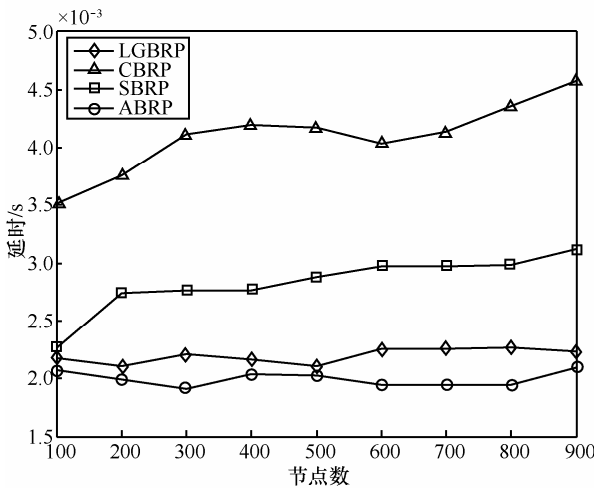


图 5 端到端延时

综上所述，基于簇和街道集的路由算法，跳数相对较大，从而导致延迟也增加，但这也增加了链路质量的稳定性，而基于位置的贪婪算法在牺牲链路质量的情况下降低了延迟。这些问题表明通过预测邻居节点的位置或移动趋势，来选择合适下一跳，将是这些算法的研究方向之一。

5.3 路由发现开销

从图 6 整个趋势来看，随着节点密度不断增加，参与路由发现的节点数量会不断增加，因此路由开销也会不断增加。

CBRP 是基于簇首进行路由发现，减少了参与路由发现过程中的节点数量，因此降低了网络中路由发现分组最多，路由开销最小。由于 SBRP 是基于街道进行路由转发，节点在街道上的有效时间较短，导致路由表有效期较短，需要频繁地更新路由表，执行路由发现过程，增加路由开销。ABRP 中，路由表有效期不仅仅是节点在路段上时间，还添

加了离开街道但仍在锚节点的通信范围内的时间，因此路由表有效期相对更长，路由更新频率相对下降，相比 SBRP 协议降低了路由开销。同理在 LGBRP 中，假设节点最大移动速度在 20 m/s 的情况下，要离开初始位置 1 km，至少需要 50 s，因此路由表有效期能维持 50 s。但是在同样网络场景下，LGBRP 的节点数量比 ABRP 要少，因为 ABRP 中存在额外的锚节点，增加了网络开销，因此 LGBRP 的路由开销比 ABRP 的要小。

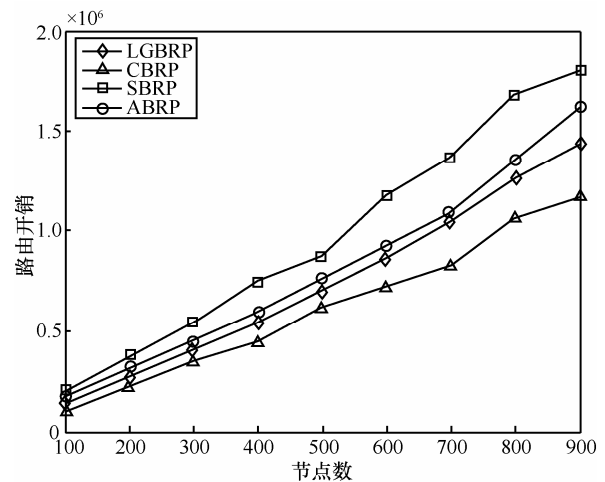


图 6 路由开销

综上所述，基于簇的路由算法有效降低了路由发现冗余分组。为降低网络负载，其他 3 类路由算法如何有效地降低广播分组的冗余将是研究趋势。同时，增加路由表的有效期，将减少路由发现过程，预测目的节点的移动规律将是 VANET 路由研究的重要方向之一。

5.4 中断率和交付率

在 CBR 分组大小为 512 byte，300 个节点场景中，随着发分组速率的增加，对 AODV、LGBRP、ABRP 的中断率和交付率分析如下。

由图 7 可以看出，传统 AODV 路由协议在随着发分组率增加，中断率明显上升，且由图 8 看出交付率急剧下降，这是由于在 AODV 中，并没有对下一跳的选择进行优化和预测。在节点移动频繁的 VANET 环境中，链路中断现象更加剧烈，而在 LGBRP 和 ABRP 协议中都对邻居进行了预测和管理，优化了下一跳的选择。因此在稀疏的场景中，中断率很低。但是实验表明，在密集场景下，由于 LGBRP 和 ABRP 为管理邻居表而增加网络开销，也可能导致中断现象发生。在图 6 中可以看出

LGBRP 和 ABRP 随着发分组率的不断上升, 交付率是先上升后下降。这是由于随着网络中数据分组的增加, 网络吞吐量逐渐达到饱和状态, 而导致数据分组丢失。在发送分组率低于 50 packet/s 时, AODV 的路由协议是比 LGBRP 优越, 因为在 300 个节点的稀疏场景中, 基于位置的贪婪算法易发生路由空洞现象, 导致数据分组不可达, 降低了数据分组交付率, 而 ABRP 一直是很优越。

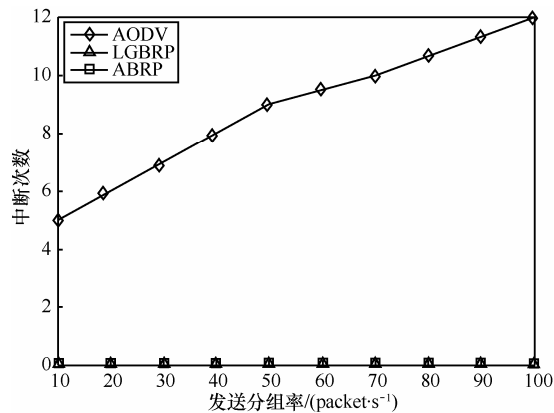


图7 链路中断次数

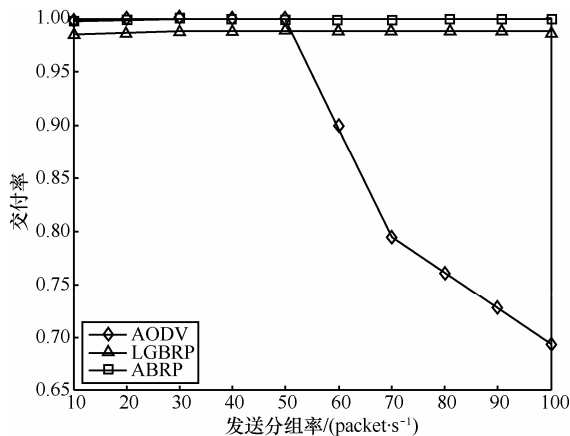


图8 数据交付率

6 结束语

基于位置的贪婪算法是降低时延的一种有效算法, 但是在节点分布不均匀的车联网中, 很容易发生路由空洞和环路, 且节点移动速度快, 场景复杂, 增大了链路的不稳定性, 因此对链路质量的评估将是该类算法研究趋势。基于街道集的路由算法, 在密集场景下, 对下一跳的选择链路质量较为稳定。但是同样由于节点分布的不均匀以及拓扑变换频繁, 及时准确地获取街道集信息是一难点。如何实时有效地获取路段信息将是今后该类算法研

究的主要方向。基于簇的路由发现算法, 在广播过程中有效地降低了冗余分组的开销, 但是对簇的组建与维护开销仍然是一个瓶颈。基于锚节点的路由算法在路由性能上是最为有效, 但对辅助设备要求高, 依赖性大。每综合各种路由协议的优点, 设计切实可行的高 QoS 的路由协议, 将是后期研究的主要内容。

综上所述, VANET 比 MANET 的拓扑结构更不稳定, 节点移动速度更快, 实际场景更加复杂等特点, 在今后在车联网路由方面研究的主要方向侧重于以下 4 个方面。

1) 链路质量预测研究。使在高速和复杂的移动场景中, 数据分组丢失和链路中断的可能性更小。

2) VANET 的拓扑结构变化研究。由于节点的移动是沿街道行驶, 具有规律可循, 通过节点的移动规律, 预测拓扑结构的变化, 降低在路由维护和发现过程中, 所需的额外开销。

3) 分簇算法研究。通过分簇算法的研究, 能够有效降低簇维护和广播开销。

4) 辅助设备和基础设施的建设部署研究。大多车内都装有各种传感器、GPS 定位等辅助设备, 充分利用辅助设备和路边单元在数据交付延迟和交付率等网络性能上有很大帮助。

目前车联网路由算法大多数都是基于传统的路由算法改进而来, 在确保数据交付率和延迟的情况下, 如何有效利用车节点辅助设备, 对网络拓扑结构实时把握, 使路由表和邻居表信息有效时间更长, 网络额外开销更小, 将是今后 VANET 路由发展的趋势。

参考文献:

- [1] HE W, LI Z, XIE G. Research and development trends of car networking[J]. Communications in Computer & Information Science, 2010, (134): 296-301.
- [2] WANG Q, QIAN H Y. VANET architecture and key techniques of perception layer research [J]. Telecom Science, 2012, 28(12):1-9.
- [3] BIDDLESTONE S, REDMILL K A. A GNU Radio based testbed implementation with IEEE 1609 WAVE functionality[A]. Vehicular Networking Conference(VNC)[C]. 2009.1-7.
- [4] GRAFLING S, MAHONEN P, RIIHJARVI J. Performance evaluation of IEEE 1609 WAVE and IEEE 802.11p for vehicular communications[A]. Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2010 Second International Conference on. IEEE[C]. 2010.344-348.
- [5] HO K, KANG P, HSU C. Implementation of WAVE/DSRC devices for vehicular communications[J]. International Symposium on Computer, 2010, (2):522-525.
- [6] SUKUVARA T, YLITALO R, KATZ M. IEEE 802.11p based vehicular networking operational pilot field measurement[J]. IEEE Jour-

- nal on Selected Areas in Communications, 2013 (9):409-417.
- [7] 刘业, 吴国新. 基于 802.11p/WAVE 的车联网连通性模型及其应用研究[J]. 通信学报, 2013, 34(6):85-91.
LIU Y, WU G X. Study on the connectivity model of VANET based on 802.11p/WAVE and its application [J]. Journal on Communications, 2013, (6):85-91.
- [8] 范存群, 王尚广, 谷文哲. 车联网下基于网络编码的高吞吐量多径路由算法[J]. 通信学报, 2013, 34(Z1):133-141.
FAN C Q, WANG S G, GU W Z. Enhanced-throughput multipath routing algorithm based on network coding in IoVs [J]. Journal on Communications, 2013(S1):133-141.
- [9] KORI P, SHARMA S. An effect of route caching scheme in dsr for vehicular adhoc networks[J]. International Journal on Computer Science & Engineering, 2012, (1):35-39.
- [10] WU C, KUMEKAWA K, KATO T. Distributed reinforcement learning approach for vehicular ad hoc networks[J]. IEICE Transactions on Communications, 2010, 93-B(6):1431-1442.
- [11] MOSTAFA A, VEGNI A M, AGRAWAL D P. A probabilistic routing by using multi-hop retransmission forecast with packet collision-aware constraints in vehicular networks[J]. Ad Hoc Networks, 2014, 14(3):118-129.
- [12] GHAFOR H, KOO I, GOHAR N. Neighboring and connectivity-aware routing in VANETs[J]. The Scientific World Journal, 2014, 789247.
- [13] SHAFIEE K, LEUNG V C M. Connectivity-aware minimum-delay geographic routing with vehicle tracking in VANETs[J]. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences Social Informatics & Telecommunications Engineering, 2010, 9(2):131-141.
- [14] DING Y, WANG C, XIAO L. A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks[A]. Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks[C]. ACM, 2007. 59-68.
- [15] SKORDYLIS A, TRIGONI N. Delay-bounded routing in vehicular ad-hoc networks[J]. Mobihoc Proceedings of Acm International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Compu, 2008, 5346:341-350.
- [16] RAO S A, PAI M, BOUSSEDJRA M. GPSR-L: Greedy perimeter stateless routing with lifetime for VANETS[A]. International Conference on Its Telecommunications[C]. 2008. 299-304.
- [17] WU E H, SAHU P K, SAHOO J. Destination discovery oriented position based routing in VANET[A]. Asia-pacific Conference on Services Computing IEEE[C]. 2008.1606-1610.
- [18] LEE K C, LE M, HARRI J. Louvre: landmark overlays for urban vehicular routing environments[A]. Vehicular Technology Conference[C]. 2008. 1-5.
- [19] BILAL M, CHAN P M L, PILLAI P. A fastest multi-hop routing scheme for information dissemination in vehicular communication systems[A]. Softcom International Conference on Software Telecommunications and Computer Networks[C]. IEEE, 2010. 35-41.
- [20] BOHLOOLI A, JAMSHIDI K. Detecting the vehicle direction changes for routing algorithms and applications of vehicular ad hoc networks[J]. IEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2012, 7(3):329-333.
- [21] ZHANG J Y, YANG B. A routing algorithm for car-to-car communication in wireless access vehicular environment[J]. Communications Technology, 2013, (9).
- [22] LUO T, LI J T, LIU R L. A fast and reliable broadcast routing algorithm for safety related information in VANET[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(3):663-672.
- [23] LIU G T, YANG Y J, LIU Z Y. A route recovery method based on location information in vehicular ad hoc networks[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2012, 26(8):716-720.
- [24] YANG Q, LIM A, LI S. ACAR: Adaptive connectivity aware routing for vehicular ad hoc networks in city scenarios[J]. Mobile Networks and Applications, 2010, 15(1):10.
- [25] RASHEED A, AJMAL S, QAYYUM A. Protocol independent adaptive route update for VANET[J]. Scientific World Journal, 2014(1):18-18.
- [26] NZOUMONTA J, RAJGURE N, WANG G. VANET routing on city roads using real-time vehicular traffic information[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(7):3609-3626.
- [27] KIM J, LEE S. Reliable routing protocol for vehicular ad hoc networks[J]. AEU International Journal of Electronics and Communications, 2011, 65(3):268-271.
- [28] HU S Z, BAO W D, WANG B. Clustering data gathering algorithm based on multiple cluster heads for wireless sensor networks [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014, (2):403-408.
- [29] HASSANABADI B, SHEA C, ZHANG L. Clustering in vehicular ad hoc networks using affinity propagation[J]. Ad Hoc Networks, 2014, 13(1):535-548.
- [30] TALEB T, SAKHAE E, JAMALIPOUR A, *et al.* A stable routing protocol to support its services in VANET networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(6):3337 - 3347.
- [31] SONG T, XIA W, SONG T. A cluster-based directional routing protocol in VANET[A]. IEEE International Conference on Communication Technology[C]. 2010. 1172-1175.
- [32] SUN W, YAMAGUCHI H, YUKIMASA K. GVGrid: a QoS routing protocol for vehicular ad hoc networks[A]. Quality of Service, 2006. IWQoS 2006 14th IEEE International Workshop on IEEE[C]. 2006. 130-139.
- [33] MOHANMODE M S, XU K K, XIA W W. Vehicular ad hoc network and clustering routing algorithm applied in wilderness scenarios[J]. Journal on Communications, 2012, (10):166-174.
- [34] LIU Y, XIONG N, ZHAO Y. Multi-layer clustering routing algorithm for wireless vehicular sensor networks[J]. IET Communications, 2010, 4(7):810 - 816.
- [35] ZHAO J, CAO G, VADD: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(3):1910 - 1922.
- [36] WANG W, XIE F, CHATTERJEE M. Small-scale and large-scale routing in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(9):5200-5213.
- [37] SALEET H, LANGAR R, NAIK K. Intersection-based geographical routing protocol for VANETs: a proposal and analysis[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(9):4560 - 4574.
- [38] NAUMOV V, GROSS T R. Connectivity-aware routing (car) in vehicular ad-hoc networks[A]. Infocom IEEE International Conference on Computer Communications IEEE[C]. 2007.1919 - 1927.
- [39] ZHANG F S, JING B H, WANG Z Y. A routing mechanism over bus-based VANETs by mining trajectories[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(3):648-662.

作者简介:



吴振华 (1977-), 男, 江西鄱阳人, 博士, 南昌航空大学副教授, 主要研究方向为无线传感网、物联网。

胡鹏 (1990-), 男, 安徽安庆人, 南昌航空大学硕士生, 主要研究方向为车联网自组织网络路由算法。