

基于概率及退避等待的车辆安全消息广播机制^①

徐哲鑫, 彭杏云, 林 潇, 吴 怡

(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)

摘 要: 在车辆自组织网中, 针对安全消息广播的有效覆盖及竞争冲突问题, 本文提出了基于概率及退避等待的广播机制(VANET Broadcast Mechanism based on Probability and Backoff, VBM-PB). 该机制隶属于接受者机制, 其复杂度低并且具有完全分布式计算特性. VBM-PB 将车辆的地理位置信息和节点负载结合, 计算各节点潜在的转发概率; 构造概率转发函数并设计自适应退避等待方案, 减少网络中数据包冗余、降低节点间数据发送冲突并保障消息覆盖率; 利用超时重传机制确保消息发送的可靠性. 仿真表明, VBM-PB 与经典的几种广播机制相比, 在数据包渗透速度、转发节点所占比例以及消息传输时延上均具有更好的性能.

关键词: 安全消息; 广播; 车辆自组织网; 概率; 退避等待

Vehicular Safety Message Broadcast Mechanism Based on Probability and Backoff

XU Zhe-Xin, PENG Xing-Yun, LIN Xiao, WU Yi

(Key Laboratory of OptoElectronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, Fujian Provincial Key Laboratory of Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In vehicular ad hoc network (VANET), the efficient coverage and low transmission collision of safety message is the challenge. To solve this problem, a VANET broadcast mechanism based on probability and backoff (VBM-PB) are proposed in this paper. The mechanism is part of the recipient mechanism and is practicable due to low complexity and fully distributed computation. The geographical position and data load of vehicles are both considered to calculate the forward probability of each potential relay in VBM-PB. A function of forward probability is constructed combined with an adaptive backoff mechanism, which can reduce packet redundant in the network, relieve data collision among nodes and enhance coverage rate of safety message. Besides, timeout-retransmit mechanism is also applied to guarantee high reliability of transmission. The simulation results show that the performance of VBM-PB is superior to several traditional mechanism in terms of package permeability, forwarding node proportion and transmission delay.

Key words: safety message; broadcast; vehicular ad hoc network (VANET); probability; backoff wait

车载自组织网(vehicular ad hoc network, VANET)中与安全相关的消息是一类重要的消息, 如碰撞预警(包括紧急刹车, 车辆变道), 路况状态(包括减速预警, 车道合并预警、施工区域警示等)以及紧急交通事故消息, 该类消息具有消息简短、实时性要求高、覆盖范围广等特点, 因此广播是最有效的传播方式.

通过中继节点转发方式的不同可将广播机制分为基于洪泛的广播、基于计数的广播、基于分簇的广播、

基于地理位置的广播和基于概率的广播. 洪泛广播是典型的多跳广播机制, 每个节点在接收到广播信息之后检查其是否已经接收过此数据包, 如接收过则将其丢弃, 接收过消息的所有节点都将消息传输到通信范围内的所有邻居节点, 完成对信息的传播. 但在节点高密度场景中, 该广播机制会引起“广播风暴”, 造成无线信道的浪费与网络资源的消耗. 在基于计数的广播中, O.Sangho 等人提出了基于计数器的广播协议

^①基金项目:国家自然科学基金(61571128);教育部博士点基金新教师类资助项目(20133503120003);福建省科技厅工业科技计划重点项目(2014H0019);福建省自然科学基金(2013J01224);教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队项目滚动支持计划(IRT_15R10)

收稿时间:2016-03-31;收到修改稿时间:2016-04-24 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005483]

LBFT (Location-Based Flooding Techniques)^[1]. 当某个节点接收到一个数据包时, 此节点将会启动一个定时器, 同时节点还将启动一个计数器, 节点接收到某个相同数据包, 此计数器减 1. 定时器计时完成时, 节点统计出接收到相同节点的个数, 相同节点个数小于某阈值时, 该节点转发此数据包, 否则放弃转发^[2]. 可以看出该方案复杂度小且具有分布式计算特性, 但通信性能方面的因素考虑不足. 基于分簇的广播中, 文献[3]提出运用权重大小来自适应调整 VANET 簇及网关选择, 节点转发广播消息时计算出各自的运动权重, 同时结合消息成功接收概率来评估信道质量的好坏; 又借鉴位置预测的分簇方法, 选择距离中心车辆最近的节点充当簇头. 文献[4]针对安全预警提出的一种基于分簇的广播机制 SRB(Selective Reliable Broadcast), 源节点通过邻居地理位置信息界定某个区域内大致分为多个簇, 每个簇中挑选距离源节点最远的节点充当簇头, 减少转发节点的数目, 在一定程度上抑制了广播风暴的发生. 文献[5]提出一种基于车辆速度来划分簇的广播机制, 在某个区域内把速度在相同范围内变化的节点划分为一个簇, 选择簇内最大速度的节点充当簇头. 当簇内的成员节点随着速度的改变使其大于簇头的速度, 则该簇将被重新定义, 同时更新簇头. 由于节点的快速移动就限定了簇头只能选择簇内的边界节点, 这样在更新簇头时能够及时的形成一个新簇. 基于分簇的广播可以较好地通过节点级别分层降低冗余传播, 但分簇本身将引入较多开销, 增加网络负载. 鉴于车载自组织网快速移动和频繁的拓扑变化的特征, 数据包的转发与地理位置信息息息相关, 因此有学者提出了多种基于位置信息的广播协议. 文献[6]在 slotted 1-persistence 机制的基础上提出了 DT-BA (Double-timer based broadcast algorithm), 该机制是基于地理位置并且结合两个定时器的方法, 第一个定时器是根据经验选取的常值, 排除一些不符合条件的节点, 第二定时器是依据节点的位置信息计算出一个等待时长. 为了减少网络中数据包的冗余、竞争与冲突, 采用基于竞争时间的选择方案对数据进行转发, 达到减少广播风暴的效果. 文献[7]在 EDB 广播机制的基础上提出 MCAB(Multi-candidates-based Adaptive Broadcast Algorithm)机制, 它克服了 EDB 机制没有采用确认机制, 提出了在单一路和十字路口两种场景下对数据包进行不同的转发机制. 当车辆处于交叉口

时采用基于发送者的机制, 选用距离路口最近的节点作为中继节点, 取代了通过安装转发器向各个方向进行数据发送的方式; 而在单一路路上选择距离上一跳转发节点最远的中继节点, 以实现消息可靠传播. 文献[8]针对选择距离源节点最远的节点作为转发节点会引起不正确的测量问题, 于是提出了 N 跳加权的 p-坚持机制来降低广播风暴. 文中首次提出了理想转发跳数的概念, 理想跳数定义为车辆距离源节点的实际距离与传输范围取余之后剩下的整数部分. 当消息到达某个节点的实际跳数大于或等于理想跳数时, 此节点不参与消息转发, 只有当实际跳数小于理想跳数时才被选为中继节点转发消息, 达到减少转发节点数的目的. 文献[9]提出了一种多候选机会转发协议 MCROB, 该协议是一种发送驱使方案, 提出了包转发率和期望传输速度, 考虑速度的大小来提高协议的自适应性. 发送节点比较期望传输速度与实际车辆的行驶速度, 两者越接近则该节点的优先级越高, 将优先级封装在包头中. 节点优先级不同决定了该数据包发送的顺序不同, 先发送的节点将会抑制后面节点的发送权限, 减少了转发节点的数目, 提高了节点的自适应性. 文献[10]提出了两种基于位置信息和 802.11 的多跳自适应广播协议, 即自组织多跳广播(Ad hoc multihop broadcast, AMB)和城市多跳广播(Urban multihop broadcast, UMB). 此协议将节点覆盖半径内的所有邻居节点划分为不同的区域, 选择距离源节点最远的非空区域内的节点作为中继节点, 同时引入 MAC 层的控制包(RTB 和 CTB)来处理隐藏终端问题, 达到抑制“广播风暴”的目的. 然而该协议引入了大量的控制包, 增加了网络拓扑的资源消耗. 基于概率的广播基本原理是节点在转发数据之前计算出一个转发概率, 当车辆密度流高时以较低概率值转发, 而当车流量较低时以较高概率值转发. 文献[11]为解决广播协议中数据包的冗余量高提出了贪婪转发机制 IF (Irresponsible Forwarding). 该机制分析了车辆间距呈指数分布和呈正态分布两种场景, 结合位置和车辆密度同时引进额外自由度, 通过联合概率函数构造车不同情形下转发节点的概率分布函数, 提高转发概率的扩展性, 降低转发冗余度. 文献[12]针对广播过程中相邻节点之间的竞争和冲突问题提出了三种降低广播风暴的机制: 加权 p-坚持机制(weighted p-persistence)、时隙 1-坚持机制(slotted 1-persistence)和时隙 p-坚持(slotted

p -persistence)机制。第一种是节点以概率 p 转发数据包, 而以 $1-p$ 的概率丢弃数据包; 而后两种机制有效的结合了概率与时延两个因素, 源节点将潜在转发范围分割成不同的区域, 每个区域将分配不同的等待时延, 距离源节点最远的区域其等待时间最短。因此节点收到广播分组后不是立刻发送该消息, 而是一小段时延后再依据概率 p 发送该数据分组。文献[13]是一种基于概率的广播机制, 节点的转发概率包含了非公共节点概率与距离的概率的叠加, 其中非公共节点数由邻居节点的地理位置信息决定。非公共节点数越多, 其所能覆盖新的节点可能性越大, 提高了广播协议的可靠性。文献[14]提出了一种基于最远距离的概率广播机制, 该机制有效耦合了概率机制与距离感知技术来降低广播风暴问题, 以覆盖率广和时延低的传递广播数据包。

通过上述分析可以看出, 目前广播机制在综合考虑运动属性和通信性能属性并针对性地应用于 VANET 方面仍需进一步研究。另外, 基于计数和概率的广播机制机制复杂度低, 也更有利于实现分布式运算。但基于计数的机制由于需要等待一定时间用于计数, 从而增加了传播时延; 而基于概率的机制可实时筛选转发节点, 实时性更高。尽管引入了一定的随机性, 但在节点通信范围(几百米量级)远大于道路宽度(几十米量级)的情况下, 出现无符合条件的转发节点从而导致传播空洞的概率很低并且可通过携带-转发的模式处理空洞问题。因此本文将以基于概率的广播机制为基本理念结合定时器退避等待技术, 提出基于概率及退避等待的广播机制 (VANET Broadcast Mechanism based on Probability and Backoff, VBM-PB), 抑制广播风暴、降低数据冗余传播, 综合考虑节点拓扑及通信负载的因素, 较全面地考量节点的潜在转发性能, 并通过超时重传机制保障数据传输的可靠性。

1 VBM-PB概述及总体流程

VBM-PB 是在 slotted p -persistence 机制^[12]的基础上做出改进。slotted p -persistence 机制将通信范围划分为多个路段, 每个路段给定不同退避等待的时间, 距离上一跳节点越远的路段设定越短的退避等待时间。距离上一跳节点最远的非空路段内的节点为转发节点集, 给定最少的等待时间并以概率 p 进行转发^[12]。slotted p -persistence 机制在一定程度上减少了数据包冗余, 降低了“广播风暴”发生的概率, 然而在某路段

内以概率 p 转发数据包时仅考虑了与上一跳节点的距离, 而没有考虑节点本身的负载, 并且其路段的选择受节点密度的限制。

VBM-PB 在计算候选节点的转发概率时除考虑节点与上一跳转发节点距离外, 同时引入了节点负载因素综合评估候选转发节点与周围邻居节点的业务量忙闲状态, 其中节点负载是用节点队列的占用率衡量。当候选节点与周围邻居节点业务量大时, 表明该节点处于繁忙状态且本身负载重, 在其队列中等待转发的数据包大, 其队列占用率高, 广播消息的候选节点因尽量避免那些节点负载大或即将变大的节点; 反之, 当节点处于空闲状态时, 队列占用率低, 节点负载较轻。该机制总体流程如图 1 所示, 分为三大过程: (1) 通过车载设备获取当前车辆的地理位置信息和节点的队列占用率, 潜在中继转发节点结合车辆的地理位置信息和节点本身的负载, 运用综合加权方法计算出潜在中继节点的转发概率; (2) 为减小数据包冗余、竞争与冲突, 达到降低“广播风暴”的效果构造出概率转发函数, 采用概率转发函数为潜在中继节点设计出自适应竞争时延定时器方案确保以较少的中继节点数目、较快的传输速度达到最大范围的消息覆盖率, 提升该机制的有效性; (3) 为最大限度的确保消息的可靠性和健壮性, 避免因隐藏终端使得广播消息无法发送出去, 还将启用超时重传机制。

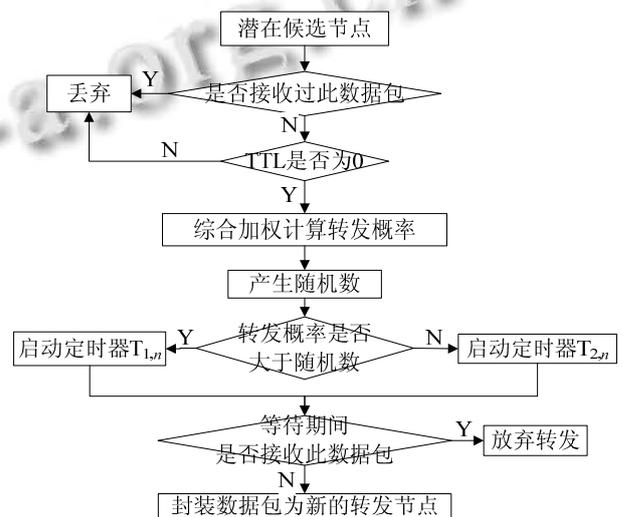


图 1 VBM-PB 总体流程

所研究的 VANET 网络架构将遵循以下基本假设条件: (1)所有车辆都安装了车载定位系统如 GPS

(Global Position System)或电子地图,能够周期性的采集到车辆的地理位置信息;(2)分布在道路上的车流量密度是变化的,但在车辆的通信范围内是连通的,即车辆的一跳范围内能够找到转发节点.若出现转播空洞,则采用携带-转发机制^[15],直到下一跳节点延续连通性;(3)车辆具备强大的计算能力,且不受能量的限制.

2 VBM-PB各环节设计

2.1 潜在中继节点转发概率

为了减少数据包冗余以抑制“广播风暴”,同时兼顾广播消息覆盖率以及消息传输的实时性,当某个节点转发安全消息时,该节点被认为是源节点.并且由于无线传输的天然广播特性,在其通信范围内所有节点都将接收到该数据包.每个潜在中继节点根据自身与上一跳转发节点的地理位置信息和本身的负载大小计算出潜在的转发概率,然后通过综合加权的方法求得最终的节点转发概率,并为后续设计基于概率转发函数的自适应等待时延定时器做准备.

VBM-PB 机制中节点转发概率的影响因素为自身地理位置信息以及节点本身的负载.通过 GPS 及电子地图实时获得网络中节点的经纬度,通过极坐标与直角坐标之间的转换关系获得当前潜在中继节点 j 的位置坐标为 (x_j, y_j) , 上一跳转发节点 i 的坐标为 (x_i, y_i) , 则两节点之间的欧式距离为:

$$D_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (1)$$

因此潜在中继节点 j 可计算关于上一跳节点 i 的与距离相关的概率 P_1^{ij} 为:

$$P_1^{ij} = \frac{\min(D_{ij}, R)}{R} \quad (2)$$

其中 R 为 VANET 中节点的最大通信半径.

引入节点队列的数据包占用率以评估节点本身的负载大小.潜在中继节点中队列的占用率越高,节点队列中等待转发的数据包越多,表明节点本身负载越大,在选择广播消息候选节点时应尽量避免节点负载较大的节点,尤其是当其他业务量数据包达到节点最大负载的承受能力时,节点队列做出丢包处理,使广播消息无法发送到目标区域.设第 j 个潜在中继节点的队列占用率为 P_2^j :

$$P_2^j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} \quad (3)$$

其中 Q_j 为节点 j 队列中已存储的数据包个数,而 Q_{\max} 为节点队列所允许的最大存储数据包个数,可设为 $64^{[16]}$.进而运用综合加权的方法确定潜在中继节点 j 关于节点 i 的转发概率:

$$P^{ij} = \omega_1 P_1^{ij} + \omega_2 (1 - P_2^j) \quad (4)$$

其中 ω_1 和 ω_2 为归一化综合加权因子,取值范围为 $[0, 1]$ 且有 $\omega_1 + \omega_2 = 1$.由上式可知,应选择那些负载较小且与上一跳转发节点距离较远的节点作为下一跳节点.

潜在中继节点概率的加权因子受到节点负载的约束,而节点负载间接受车流密度影响.通常当车流密度较大时,节点间进行其他业务交换越频繁,此时应避免选择处于高负载的节点作为广播消息的下一跳转发节点,因为高负载的节点会发生丢包现象或数据包一直堆积在队列中增加了广播时延,所以节点负载大小对转发概率起决定性作用,即 ω_2 大于 ω_1 ;而当车流密度较小时,节点进行其他业务交换相对较低,节点负载较小,为使广播消息能以低时延、高覆盖传播,应选择距离上一跳转发节点越远的节点作为中继节点,此时 ω_2 小于 ω_1 .可以将 VBM-PB 中 ω_1 和 ω_2 构造成关于负载 P_2^j 的函数,表达式如下:

$$\omega_2 = f(P_2^j) = k \cdot P_2^j + b \quad (5)$$

$$\omega_1 = 1 - \omega_2 = 1 - k \cdot P_2^j - b \quad (6)$$

可以证明当 $k=1, b=0$ 时概率 P^{ij} 、 P_1^{ij} 和 P_2^j 都分布在 $0 \sim 1$ 之间,证明了该设计方法的合理性,因此潜在中继节点的转发概率 P^{ij} 的表达式变为:

$$P^{ij} = P_1^{ij} + P_2^j - P_1^{ij} \cdot P_2^j - (P_2^j)^2 \quad (7)$$

2.2 自适应等待时延定时器

潜在中继节点计算出转发概率后不是立即转发数据包,而是运用转发概率设计自适应等待时延的定时器,且节点的转发概率越大,该节点的等待时延越小,该节点转发广播消息的优先级越高.当其他邻居节点在各自的定时器倒计时内收到某节点广播的相同数据包,知晓该数据包已经被成功发送,邻居节点将取消定时器计时.

自适应等待时延方案利用第 N 个潜在中继节点的转发概率 P_N 与服从均匀分布的随机数 X_N 设定定时器时长.该方法克服了传统的基于概率广播机制在密集场景中节点概率大于随机数或大于某个设定的阈值时立即转发数据包而造成局部广播风暴的缺陷,也改变了节点概率小于随机数就面临丢弃的转发机制.

VBM-PB 中定时器等待时长的设计分为两种不同的情况. 通过比较一跳通信范围内的节点转发概率 P_n 与随机数 X_n 大小将邻居节点分为两个不同的节点子集: 设转发概率不小于随机数的节点集合为子集 **A**; 而转发概率小于随机数的节点集合设为子集 **B**. 首先在子集 **A** 中通过构造概率转发函数设计出自适应等待时延方式寻找最优的下一跳转发节点, 同时启动定时器 $T_{1,A}$. 当最高优先级的节点由于某种原因无法参与转发时, 其他节点根据各自定时器倒计时结束的先后顺序依次替补为中继节点. 若子集 **A** 中节点均无法成为转发节点时, 子集 **B** 中各节点将通过前述相同方式各自设定定时器 $T_{2,B}$ 选择下一跳转发节点.

设 τ 为一跳传输时延, 包括信道接入时延和传播时间, 其中信道接入时延包括数据包在队列中的等待时延和数据帧在 MAC 层接入时延^[7], 数据包以电磁波的速度进行传输, 因此传播时延可忽略不计. 则有:

1) 当 $P_n \geq X_n$ 时, 将在子集 **A** 中设定各节点的定时器 $T_{1,n}$, 其中 P_n 与 X_n 分别代表潜在在中继节点 n 的转发概率和处于 0~1 之间的服从均匀分布的随机数. 将 $T_{1,n}$ 设定的退避时间为:

$$t_{1,n} = (1 - P_n) \cdot \tau \quad (8)$$

2) 当 $P_n < X_n$ 时, 将子集 **B** 中各节点设定定时器 $T_{2,n}$, 其退避时间设定为:

$$t_{2,n} = \tau + (1 - P_n) \cdot \tau \quad (9)$$

因此通过设计概率转发函数构造出自适应竞争时延的定时器退避时间为:

$$t_n = \begin{cases} t_{1,n} = (1 - P_n) \cdot \tau, & P_n \geq X_n \\ t_{2,n} = \tau + (1 - P_n) \cdot \tau, & P_n < X_n \end{cases} \quad (10)$$

采用综合加权概率构造出自适应等待时延的方式选择最优节点作为下一跳转发节点, 确保广播消息以较少的转发节点最快速度转发出去, 既减少了数据包的冗余、竞争与冲突, 同时也确保了该广播机制的性能指标得到优化. 图 2 为 VBM-PB 中定时器作用方式的示意图, 在源节点 S 通信范围内的潜在中继节点通过比较节点的转发概率与随机数的大小将邻居节点分为两个子集 **A** 和 **B**, 其中灰色节点代表子集 **A**, 包括节点 $\{a_1, a_2, \dots, a_6\}$; 白色节点代表子集 **B**, 包括节点 $\{b_1, b_2, \dots, b_6\}$. 首先在子集 **A** 中的各个节点启动定时器 $T_{1,A}$, 假设该子集内节点 a_5 计算出转发概率后通过自适应竞争时延方式最先完成定时器倒计时, 成为优先级最高的中继转发节点, 子集 **A** 内的其他节点根据定

时器计时完成顺序依次替补为中继节点. 例如节点 a_5 因某种原因无法转发数据, 且节点 a_4 是仅次于节点 a_5 完成定时器计时的节点, 那么节点 a_4 将成为转发节点. 在定时器倒计时期间若其他潜在中继节点收到 a_5 发送来的相同数据包, 则这些潜在中继节点取消各自的定时器倒计时, 退出转发节点集. 若在子集 **A** 中未找到符合条件的转发节点, 将在子集 **B** 中启动定时器 $T_{2,B}$, 在节点 $\{b_1, b_2, \dots, b_6\}$ 中采用相同方式筛选出下一跳转发节点.

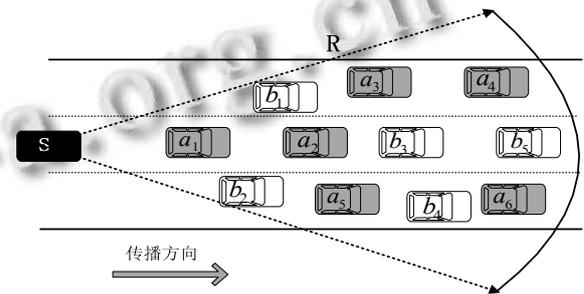


图 2 VBM-PB 中定时器作用方式示意图

2.3 广播数据包结构

数据包格式如表 1 所示, 其中数据包序列号和源节点 ID 号用来唯一标识是否为同一数据包, MAC 包头和 IP 包头分别为进入 MAC 层和网络层的封装包头, 时间戳用来记录广播消息的起始发送时间, 节点位置信息为 GPS 获取的车辆经纬度信息, 广播消息传播方向表明该消息是沿着源节点行驶前方还是源节点行驶后方传播, 由源节点根据广播需求而设定, TTL 用于限定数据包最大生存期, 其取值为 255 秒.

表 1 VBM-PB 数据包格式

源节点 ID	数据包序列号
MAC 包头	IP 包头
时间戳	
节点位置信息	
广播消息传播方向	
综合加权的后继转发概率 P	
数据包最大生存时间 TTL	
广播消息类型	

2.4 超时重传机制

在车载网络中由于复杂的无线信道环境存在隐藏终端和暴露终端问题, 致使数据包无法被中继节点转

发出去, 即其通信范围内找不到节点向外传输数据, VBM-PB 机制为确保消息的可靠性和鲁棒性采取了超时重传机制. 上一跳转发节点 n 在发送完数据之后将立即启动超时重传定时器 $T_{3,n}$, 设 τ_{max} 为安全消息一跳范围内所允许的最大接入时延, 因此上一跳转发节点的最大等待时间为 $2\tau_{max}$, 则 $T_{3,n}$ 的倒计时时长设定为

$$t_{3,n} = 2\tau_{max} \quad (11)$$

上一跳转发节点 n 在定时器 $T_{3,n}$ 倒计时结束时若未收到其邻居节点发送过来的重复数据包, 即数据包没有被任何节点转发, 源节点将再次发送相同数据包; 而若在 $T_{3,n}$ 未结束前收到重复数据包, 即数据包转发成功, 源节点将该定时器复位. 启动超时重传机制的基本流程图如图 3 所示.

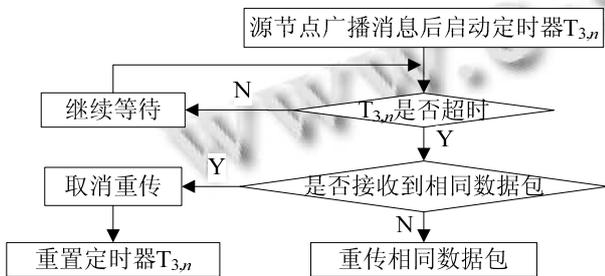


图 3 VBM-PB 超时重传机制流程图

3 仿真与性能分析

3.1 仿真场景与参数设计

本论文采用交通模拟器 SUMO 与网络仿真器 NS2 对多跳广播机制 VBM-PB 进行协同仿真. 首先利用 OpenStreetMap(OSM)工具导入福州市街道分布图, 如图 4 所示, 并且运用 SUMO 生成改进的 Krauss 车辆移动模型并导入 NS2 中, 分析其中双向六车道的 $1500 \times 1500m$ 范围内网络拓扑. 仿真中节点服从随机分布, 选取网络中某一节点绑定 UDP Agent 作为广播机制的源节点. 为了分析 VBM-PB 机制性能, 本文还对比了 MFlood、slot- p -persistence 和 DT-BA 机制性能. 本文采用通过多次测量取平均值的方法分析了几种机制的数据包渗透速度、转发节点比例和传输延迟. 表 2 为 VBM-PB 机制的参数设计.

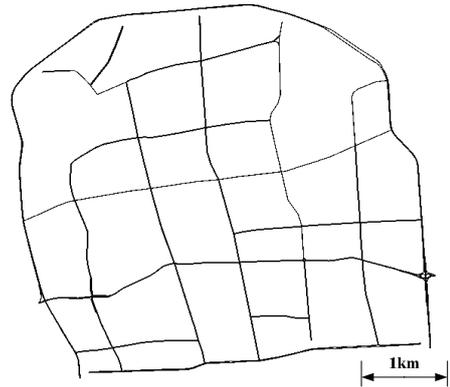


图 4 福州市地图

表 2 VBM-PB 机制仿真参数值

参数名称	值	参数名称	值
仿真场景(m ²)	1500×1500	数据包大小 (bytes)	128
通信半径(m)	250	数据包产生速率(packet/s)	4
仿真时间(s)	300	车辆密度 (vehicles/Km)	40-140
车辆模型	Krauss 跟驰模型	工作频段(GHz)	5.9
无线信道	Two Ray Ground	信道带宽(MHz)	10
天线模型	OmniAntenna	最大竞争窗口	1023
MAC 层	802.11DCF	最小竞争窗口	15
仿真次数	50	SlotTime(us)	13

3.2 数据包渗透速度

数据包渗透速度表征数据包覆盖率与消息传播时间的关系, 因此既可说明可靠性又可说明其时效性, 其中数据包覆盖率定义为网络拓扑中成功接收到广播数据包的车辆数与目标区域内车辆总数的比值. 四种广播机制的包渗透速度如图 5 所示, 横坐标表示消息传输时延, 纵坐标表示消息覆盖率(成功接收到广播信息的节点与目标区域内所有节点的比值), 该参数性能一方面表明在相同消息传输时间内包的覆盖率越大, 机制的可靠性越好; 另一方面当消息覆盖率达到 100%时, 各机制所消耗的传输时延越少, 说明机制的实时性越好. 当安全消息刚从源节点发出时, 除 MFlood 外其余三种机制的覆盖率相差不大, 因为 MFlood 机制中全部节点参与消息的转发, 消息在信道中竞争的时间较长, 导致无法将消息快速的传输到其周围邻居节点, 而其余三种机制都采用较少节点转发数据包, 减少消息在信道中的竞争时长. 另外, 可以

看到在刚开始一小段时间内, VBM-PB 的覆盖率低于 DT-BA 和 slot-p-persistence 机制, 这是因为刚开始时消息进行其他业务交换不是很频繁, 而 VBM-PB 采用综合加权的方法, 并不是选择距离上一跳节点最远节点转发, 因此覆盖率小于 DT-BA 和 slot-p-persistence 机制. 随着花费时间的增加, VBM-PB 的覆盖率优势大于其余三种, 因为该机制在选择中继节点时即考虑了地理位置信息又考虑了节点本身负载, 即位置较优且队列中等等待转发的数据包较小的节点转发, 减少了排队等待时间; 而 DT-BA 机制在设计等待时延时仅考虑了地理位置, 没有考虑节点负载, 造成丢包现象, 所以在相同时间下 VBM-PB 的覆盖率大于其余机制. 在图 5 中还能看出当消息覆盖率达到 100% 时, VBM-PB 机制的最大传输时延是 121.91ms, 比 DT-BA 机制的 130.8ms 减少了 6.8%, 比 Slot-p-Persistence 机制的 148.9ms 减少了 18.13%, 比 MFlood 机制的 170.3ms 减少了 28.4%. 由此表明, VBM-PB 机制在确保消息可靠性的同时也具有更好的实时性.

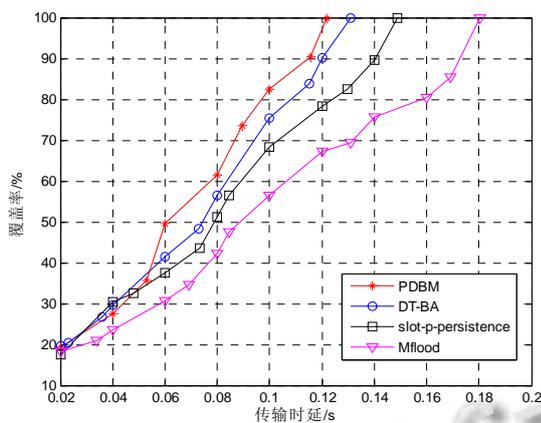


图 5 数据包渗透速度

3.3 转发节点所占比例

转发节点所占比例定义为网络中参与转发广播数据包节点数与总节点数的比值, 该指标能间接反映机制的冗余程度, 转发节点所占比例越少, 机制中参与转发数据包的节点越少, 数据包冗余程度越低, 越能反映机制的有效性. 如图 6 所示为各种广播机制的转发节点所占比例的比较图, 影响该性能指标的因素为参与转发广播消息的节点数多少.

除 MFlood 机制外, 其余三种机制都是随着节点数密度的增大而下降, 因为 MFlood 机制是所有接收

到数据包的节点都参与数据包的转发, 因此该机制转发节点以接近 100% 的数目进行转发, 而其余三种机制都采用最优中继节点转发方式, 减少了转发节点数目, 达到减少冗余数据量进而降低“广播风暴”的作用. VBM-PB 车流量密度较小时参与转发的节点数大于 DT-BA, 原因在于车流量密度小时节点本身的负载相对较小, 此时影响机制的因素为距离上一跳转发节点的位置, VBM-PB 中转发节点概率最大的将通过自适应等待时延机制最先转发, 由于该机制采用概率综合加权的方法, 在同一子集中可能存在转发概率相同节点, 通过自适应竞争等待时延后都会参与消息的转发, 而 DT-BA 中选择最优位置的节点进行转发, 因此 VBM-PB 参与转发的节点数大于 DT-BA. 但随着节点密度的增加, 节点间相互进行其他业务量增多, VBM-PB 机制选择节点位置和节点本身负载的最优的节点转发数据包, 避免了因节点队列达到最大容量而采取的丢包措施. 而 DT-BA 没有考虑节点负载大小, 遇到该种情况时不得不启动重传机制, 因此当节点密度流增大时, VBM-PB 的转发节点比例小于 DT-BA.

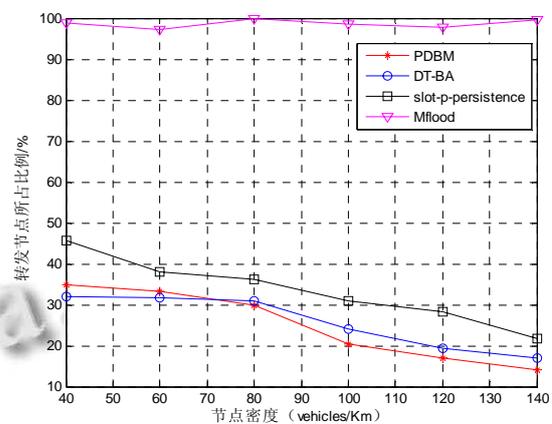


图 6 不同节点密度时的转发节点所占比例

3.4 消息传输时延

消息传输时延定义为数据包从源节点将消息转发出去传输到目标区域内消息所经历的时长, 传输时延反映了广播消息的时效性, 消息的传输时延越短, 广播数据包越能更快的传输到目标区域, 机制的时效性越好. 图 7 为四种广播机制在不同节点密度条件下的传输时延分析图.

影响机制时延的因素有机制的定时器等待时延以及信道竞争时长两种, 本文 MAC 层采用的协议是

IEEE802.11 DCF, 运用 CSMA/CA 机制竞争信道的方式发送消息. 从整体看, 随着节点数的增加, 各机制的传输时延增大. 因为随着节点数目增加, 节点业务量增大, 队列中等待发送的数据包增多, 排队等待时延增大; 同时竞争信道发送数据的节点数也增大, 发送消息将一直处于退避等待状态, 所以广播时延增大. 而 VBM-PB 和 DT-BA 的时延小于 MFlood 和 slot-p-persistence 的原因为以下两点: 一是前两者都设置了节点的竞争时延机制, 最先竞争到信道时延的节点最快进行转发, 选择位置最优的节点进行信息的转发, 大大减少了转发节点的个数, 因此节点的信道竞争激烈程度小于 MFlood 和 slot-p-persistence, 缩短了消息传输的时间; 二是 VBM-PB 和 DT-BA 都设置了超时重传机制, 当发现在启动超时定时器内未找到合适的节点作为下一跳转发节点, 上一跳转发节点将再次发送相同数据包, 减少了节点的空白等待时间. 尤其是 VBM-PB 选择距离上一跳转发节点远且节点本身负载小的节点作为下一跳转发节点, 减少了排队等待时延和信道竞争时延, 而 DT-BA 机制仅选择节点位置最优的节点作为下一跳转发节点且设置的竞争等待时长大于 VBM-PB, 同时该机制没有考虑节点本身负载大小, 所以 VBM-PB 性能优于 DT-BA. 而且随着节点密度增大, 节点本身负载的影响越大, VBM-PB 性能优势越明显. slot-p-persistence 中的等待时长受到路段划分多少的束缚, 也未启动超时重传机制, 因此其传输时延高于 DT-BA 和 VBM-PB; 而 MFlood 机制采用所有节点都参与转发的方式, 导致数据包冗余量增大, 信道竞争异常激烈, 因此其传输时延是最长的.

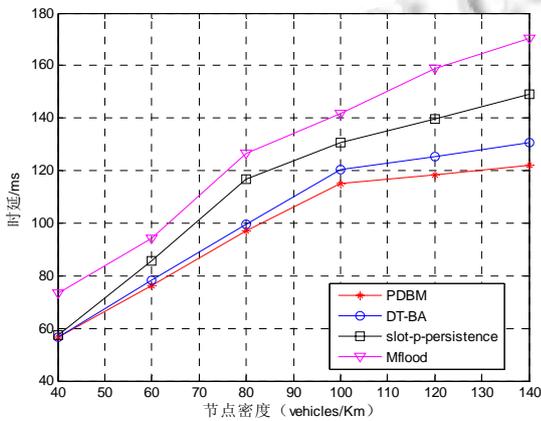


图 7 不同节点密度时的消息传输时延

4 结语

针对车载自组织网安全消息广播的时效性和覆盖率问题, 提出了基于概率和退避等待的 VBM-PB 广播机制. 该机制以 slot-p-persistence 为基础, 结合地理位置信息同时引进节点本身负载计算出潜在中继节点的转发概率; 构造概率转发函数为节点设计出自适应竞争时延定时器, 保证算法有效性的同时减少转发节点转发数据, 降低数据包的竞争、冗余与冲突, 达到抑制“广播风暴”的目的; 为提高算法的可靠性采用超时重传机制, 最后通过 SUMO 与 NS2 协同仿真表明, VBM-PB 在数据包渗透率、转发节点比例与传输时延性能上与经典的机制相比均有优势.

参考文献

- Oh S, Kang J, Gruteser M. Location-based flooding techniques for vehicular emergency messaging. 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 1-9.
- Tseng YC, Ni SY, Chen YS, et al. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. Wireless Networks, 1999, 8: 153-167.
- 陈柯蕾. 车载自组织网络分簇及网关选择机制研究[硕士学位论文]. 开封: 河南大学, 2014.
- Vegni AM, Stramacci A, Natalizio E. SRB: A selective reliable broadcast protocol for safety applications in VANETs. 2012 International Conference on Selected Topics in IEEE Mobile and Wireless Networking (iCOST). 2012. 89-94.
- Kayis O, Acarman T. Clustering formation for inter-vehicle communication. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). 2007. 636-641.
- 方松. VANET 中多跳广播机制的设计与分析[硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- 周娜. 基于位置信息的车载自组织网络广播机制研究[硕士学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- Pei HL, Huang TC. An improved distance-based scheme for broadcast storm suppression in VANETs. 2014 9th IEEE International Conference on Networking, Architecture, and Storage (NAS). IEEE Computer Society. 2014. 200-206.
- Li GS, Yao XW, Wang WL. An adaptive and opportunistic broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. International Journal of Automation & Computing, 2012,

- 9(4): 378–387.
- 10 Korkmaz G, Ekici E, Ozguner F. Black-burst-based multihop broadcast protocols for vehicular networks. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2007, 56(5): 3159–3167.
- 11 Panichpapiboon S, Lin C. Irresponsible forwarding under real intervehicle spacing distributions. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2013, 62(5): 2264–2272.
- 12 Wisitpongphan N, Tonguz OK, Parikh JS, et al. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications*, 2007, 14(6): 84–94.
- 13 Lima DS, Paula MRP, Roberto FM, et al. ProbT: A temporal probabilistic protocol to mitigate the broadcast storm problem in VANETs. *IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN)*. 2015.7–12.
- 14 李波,沈诗律.移动自组织网中基于最优距离的概率广播方案. *西安工业大学学报*,2011,(7):644–648.
- 15 Pete B, Jaini P. Continuous connectivity aware routing in VANET using hybrid protocol. *2nd IEEE International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS)*. 2015. 223–226.
- 16 钦健,李鸥,杨白薇.基于缓存队列长度的自适应网络接入延迟机制. *计算机应用*,2009,29(6):1494–1496.
- 17 高峰,高泽华,文柳,等. IEEE 802.11a DCF 协议吞吐量与时延性能分析. *北京邮电大学学报*,2010,33(6):43–47.