

交通密度自适应的 VANET 广播协议^①

周连科^② 崔 刚 刘宏伟 左德承

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 为了实现车用自组织网络(VANET)在交通流实时变化的场景下对安全信息的快速、有效广播,提出了一种能够适应交通流密度变化的 VANET 广播协议——交通密度自适应广播协议(TDABP)。该协议针对 VANET 环境的特点,采用了基于节点覆盖信息的分布式广播策略,采取按需交换邻节点覆盖信息的方式来选择转发节点,有效地降低了更新邻节点信息的通信开销、减小了广播风暴的影响,使广播通信不受节点密度的影响,能够适应道路交通中交通流不断变化的 VANET 广播场景。理论分析和仿真实验结果表明,该 VANET 广播协议能够满足 VANET 广播的可靠性和实时性要求,能够适应交通流引起的节点密度变化,具有良好的可扩展性和较高的广播效率。

关键词 移动自组网, 车用自组织网络(VANET), 广播协议, 节点覆盖, 交通流密度

0 引言

车用自组织网络(vehicular ad hoc network, VANET)是由在道路上行驶的车辆作为网络节点而自主形成的无需基础设施支持的无线网络^[1-3],网络中的车辆可以通过专用短程通信(dedicated short range communication, DSRC)传送用于提高车辆安全性和舒适性的信息^[4-9]。VANET 在提高车辆安全性方面的一个主要应用就是将突发的安全信息快速地传递给一定区域内的所有车辆^[1,2]。因此,有效的多跳广播协议是 VANET 安全应用的一个重要的研究方向,对于高效地传输安全信息和在按需路由协议中快速发现路由都是十分重要的^[10]。基于这种考虑,本文进行了这方面的研究,提出一种能够适应交通流密度变化的 VANET 广播协议——交通密度自适应广播协议(traffic density adaptive broadcast protocol, TDABP)。TDABP 是一种分布式广播协议,是为在不同交通流密度下避免广播风暴进而有效进行 VANET 广播而设计的。

1 研究背景

在道路交通中,交通流变化对广播协议性能影

响很大,一些现有的广播策略无法满足各种交通状况下的广播通信。首先,在交通堵塞场景下进行不加限制的泛洪广播会产生严重的信道冲突与竞争,引起广播风暴^[11]。而在一些交通状况好的道路上,节点移动速度又太快,链路存在时间短,网络拓扑结构变化快,使得一些基于定期信息交换的协议^[12]无法有效实施,此时节点间频繁的信息交换会引起过大的网络开销^[13],而不及时的信息交换又会使信息过时。为减小广播风暴问题,文献[11]提出了基于计数的、基于地理位置的和基于距离的方法,文献[14]提出了概率转发方法,这些方法都属于基于固定门限值的方法,它们通过将网络节点的某个属性与一个预先设定的门限值进行比较,并以此来决定是否转发以减少冗余转发的次数。此类方法中的门限值设定与网络密度密切相关,而 VANET 环境下不断变化的交通流密度大大降低了此类方法的实用性,于是研究人员提出了一些密度自适应方法。文献[15]对概率转发方法进行了扩展,通过估算传播时延和节点密度来动态调整转发概率,使之适应密度变化。文献[16]提出一种动态调整天线传输距离的方法,该方法通过估算密度值,并以此动态调整天线传输距离,降低天线接收范围内的冲突的概率。这些方法需要实时估算密度,运算开销大,不适

① 863 计划(2008AA01A204)资助项目。

② 男,1977 年生,博士生;研究方向:移动计算, VANET;联系人, E-mail: zlk@fictl.hit.edu.cn
(收稿日期:2010-06-10)

用于密度变化频繁的道路交通场景。Tseng 和 Ni 提出的基于邻节点信息的方法 (neighbor-coverage scheme)^[10] 在每个节点保存邻节点信息列表, 通过定期交换的邻节点列表来决定是否转发, 其信息更新和存储需要大量的通信开销和存储开销, 因而也不适用于道路交通场景。鉴于上述情况, 本文提出了一种能够适用于交通流密度实时变化场景的基于节点覆盖信息的 VANET 广播协议——交通密度自适应广播协议 TDABP。它采用分布式策略, 节点不需要掌握整个网络的拓扑结构; 同时, 采用按需通信的方式, 即只在需要进行广播时发起通信, 以此取代现有协议的定时信息交换策略, 有效地减少了额外的网络开销, 能够有效地在各种密度条件下进行高效的 VANET 数据广播。

2 TDABP 协议

2.1 相关定义

节点度: 将第 i 个节点的一跳邻节点的个数称为第 i 个节点的度, 记作 d_i 。

额外度: 若节点 i 与 j 互为邻节点, 二者存在共同覆盖区域, 并可能有共同的邻居。若节点 i 转发节点 j 的广播数据包, 则称节点 i 的邻居中未被节点 j 覆盖到的节点个数为节点 i 对节点 j 的额外度, 记作 Δd_{ij} 。额外度可以体现出节点在广播时的新覆盖范围。

2.2 假设条件

I. VANET 中所有车辆节点都沿道路分布 (即只考虑行驶在道路上的节点), 而且只考虑沿道路方向传输的广播信息。

II. 节点密度是变化的, 但网络始终是连通的, 即网络中没有孤立节点且不分段。

2.3 协议的设计目的

本协议旨在上层应用需要时, 以尽量少的转发次数, 尽快将广播信息传递给广播区域内的所有节点, 而不受节点密度变化的影响, 以使能够有效减少在节点稠密情况下广播产生的冲突与竞争, 适应 VANET 由交通流引起的拓扑结构快速变化。

2.4 协议的基本设计思想

本协议采用了基于邻节点信息的方法, 通过 VANET 中每个车辆节点与其邻节点比较额外度来选择具有最大额外度的节点作为转发节点。但不同于其它基于邻节点信息的方法中所采用的定期交换节点信息的方式^[12], TDABP 采用按需通信的方式

实现邻节点信息的获取, 即通过询问、应答的方式在需要时获取邻节点信息, 保证邻节点信息的实时性。通过声明、等待的方式比较节点的额外度, 进行转发仲裁, 有效地减少用于交换节点信息的通信开销, 同时节点不用在本地保存其它节点的信息, 也减少了节点内的存储开销。为了提高协议的转发效率, 减少冗余转发引起的冲突, 协议在确保广播覆盖率的前提下力求减少转发节点的个数。通过上述收集信息、比较仲裁的过程选择具有最大额外度的节点作为转发节点, 以达到各种密度条件下都能使每次转发覆盖的新节点数最大, 从而减少转发次数的目的。

VANET 广播在网络中上层应用协议有广播需求时, 由执行该应用的车辆作为源节点发起, 每个车辆节点在第一次收到这条广播消息后会询问其邻节点是否已收到此条广播消息, 未收到过的节点被认为是新覆盖节点, 询问节点会根据新覆盖节点对自己应答的数量计算本节点的额外度, 作为转发仲裁的依据。然后, 每个认为自己具有较大额外度的节点都会开始转发仲裁过程, 声明本节点的额外度, 并等待一段时间, 看是否有其它节点拥有比自己更大的额外度。收到此声明的节点会提取声明中的额外度与自己的额外度进行比较, 若声明节点所声明的额外度大, 则本节点不参与转发, 否则声明本节点的额外度。已声明的节点在等待时间内若收到其它声明也进行比较, 若自己的额外度大则继续等待, 否则放弃转发。最终会有声明的节点在等待时间到后仍收不到比自己大的额外度声明, 则此节点转发。由此仲裁过程所选出的转发节点都具有最大的额外度, 使每次转发所能覆盖到的新节点最多。

2.5 协议中数据包的分类

在本协议中, 为完成广播中数据传送、覆盖信息获取和转发仲裁过程, 定义了 4 种数据包, 其内容和作用具体如表 1 所示。

2.6 协议的执行过程

TDABP 协议由源节点根据应用需要发起广播, 每个节点收到广播包后执行如下过程:

S_1 : 节点收到其它车辆发出的信息后首先识别包类型, 看是数据包 (DP) 还是询问包 (QP), 若收到 QP 则执行 S_2 , 若为 DP 则执行 S_3 。

S_2 : 提取 QP 中的广播包 ID, 查询自己是否已经接收过此 DP, 若未接收过, 则向询问节点发应答包 (RP) 应答, 否则不做操作, 之后挂起等待新的信息。

S_3 : 将收到的数据包 ID 写入询问包并向其邻居广播, 询问其邻居是否收到过此 DP, 然后执行 S_4 。

表 1 数据包分类

名称	缩写	内容	说明
数据包 (Data Packet)	DP	由包头和数据区组成,在包头中封装包 ID,发起节点 ID 和包生成时间等信息	承载实际广播消息的内容
询问包 (inquiry Packet)	QP	内容包括广播数据包的 ID 和询问节点的 ID	节点收到广播数据包后用向其邻居询问是否收到过该 DP 包,从而获取本节点额外度
应答包 (Responding Packet)	RP	内容包括询问节点的 ID 和应答节点的 ID	收到 QP 的节点若未收到所询问的广播包,则向询问节点发此包应答,询问节点会根据收到应答包的数量计算额外度
声明包 (Announcing Packet)	AP	内容包括本节点 ID 和本节点额外度	节点在认为自己具有大额度时发此包向其邻居声明自己的额外度;在收到其它节点 AP 时,若自己具有更大的额外度,也发此包表示异议

S_4 :等待 T_1 时间来收集邻节点应答的 RP,时间到计算收到 RP 的数量,即得到该节点 i 对上一节点 j 的额外度 Δd_{ij} ,而后执行 S_5 。

S_5 :等待时间 T_2 ,用以监听其它节点的声明包 (AP),若收到 AP 执行 S_6 ,时间到执行 S_7 。此时间 T_2 为了减少声明次数设计,其长短关系到算法的执行效率,具体设定在后文详述。

S_6 :提取 AP 中的额外度,与本节点的额外度进行比较,若本节点的额外度大,则执行 S_7 ,否则执行 S_{10} 。

S_7 :若本节点已声明过,则执行 S_8 继续监听异议声明直到 T_3 时间到,若未声明过,则发 AP 声明自己的额外度,然后执行 S_8 。

S_8 :监听信道 T_3 时间 (T_3 为等待其它节点发出异议的声明时间,若本节点已经进入过此等待阶段,则继续计时,直到 T_3 时间到),若监听到其它声明,则执行 S_6 ,若 T_3 时间到,则执行 S_9 。

S_9 :本节点为转发节点,转发此 DP。

S_{10} :本节点不做转发,保存该 DP 后退出。

2.7 协议中几个关键时间的分析与确定

TDABP 的执行过程中,存在 3 个等待时间 T_1 、 T_2 和 T_3 ,其中 T_1 为节点发出 QP 后等待应答收集额外度的时间, T_2 是为减少异议声明,使具有不同额外度的节点在发 AP 前等待的时间, T_3 为节点声明后等待异议声明的时间,这 3 个时间的长短直接影响协议的性能。

首先设 $T_{\max}$ 为数据包传输到可能最远邻节点的时延,即从发送节点传输到信号覆盖边缘的传输时延, $T_{\max} = R_i/V_i$, 其中 R_i 为信号传输半径, V_i 为信

号传播速度。 T_1 时间为节点在询问后收集 RP 的时间,其时长应能保证询问节点所发 QP 能够传到其所有邻居,且所有应答节点发送的 RP 都能传回询问节点被其收集到。所以,令 $T_1 = 2T_{\max}$ 。 T_3 设定与 T_1 同理,需要保证节点在声明后,其 AP 能传给最远的邻居,且若最远的邻居具有更大的额外度时,其异议 AP 能传回本节点,所以也令 $T_3 = 2T_{\max}$ 。本协议中采用的仲裁机制要求有高额度的节点在收到比自己额外度小的 AP 后通过新声明来告知前一个声明节点自己具有更大额外度,更适合作为转发节点,在此将其称为异议声明。此时,若可能具有较小额度度的节点先声明,则会出现比较多的异议 AP,增大网络开销。最差情况是额外度最小的节点先声明,次小的节点提出异议声明,而后再稍大的节点继续提出异议声明,依此类推,直到具有最大额外度节点声明后再无异议声明才转发,这样引起不断声明的连锁反应,大大降低了传输效率。所以应力求让具有最大额外度可能的节点先声明,以减少异议声明的次数。由于 VANET 中节点延道路呈带状分布,在实际广播中往往越先收到广播数据包的节点则可能具有的额外度越小,而距离发送节点远的节点更可能覆盖到更多的新节点。因此,设计等待时间 T_2 来使具有大额度可能的节点先声明。同时, T_2 等待时间的设定还应保证具有较小额度度的节点在声明应能先收到较大的额外度声明,所以令

$$T_2 = 2(T_{\max} - T_1) \quad (1)$$

其中 T_i 为节点与上一转发节点的端到端时延,即从上一转发节点发出 DP 到节点收到该 DP 所用的时间。图 1(a)所描述的是一个极限状态,其中车辆 s

为源节点或上一转发节点,车辆 a 是车辆 s 最近的邻居,而车辆 b 则是车辆 s 最远的邻居,此时可近似

认为 $T_{as} = 0$ 而 $T_{bs} = T_{\max}$, 车辆 a 和 b 分别执行协议,仲裁过程如下(如图 1(b)所示):

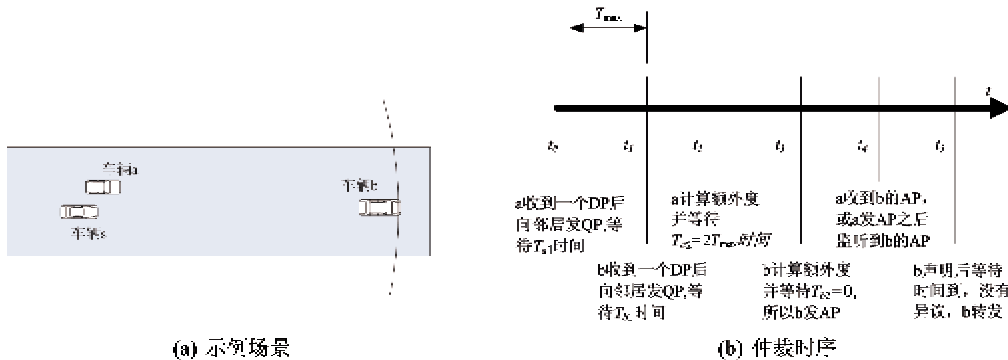


图 1 协议仲裁过程

t_0 时刻:节点 a 收到节点 s 广播的 DP 后,向其邻居发送 QP 询问其邻居是否收到此 DP,然后等待 T_{a1} 时间来收集 RP,以计算额外度,其中 $T_{a1} = 2T_{\max}$ 。

t_1 时刻:节点 b 收到 DP,向其邻居发 QP 询问是否是新覆盖节点,然后等待时间 T_{b1} , $T_{b1} = 2T_{\max}$ 。

t_2 时刻:节点 a 等待 T_{a1} 时间到,通过计算收集到的 RP 数量,节点 a 得到自己对节点 s 的额外度 Δd_{as} ,然后开始等待 T_{a2} 时间。

t_3 时刻:节点 b 等待 T_{b1} 时间到,得到自己对节点 s 的额外度 Δd_{bs} ,然后节点 b 开始等待 T_{b2} 时间,根据式(1)可计算出 $T_{a2} = 2T_{\max}$,而 $T_{b2} = 0$,所以节点 b 发 AP 声明自己的额外度 Δd_{bs} ,并开始等待 T_{b3} 时间。

t_4 时刻: T_{a2} 时间到,节点 a 发 AP 声明自己的额外度,同时收到节点 b 的 AP,经比较发现 $\Delta d_{bs} > \Delta d_{as}$,所以节点 a 放弃转发,此时若节点 a 在声明前先收到 b 的 AP,则不声明,直接放弃转发。

t_5 时刻: T_{b3} 时间到,节点 b 未收到比 Δd_{bs} 大的额外度,节点 b 转发节点 s 广播的 DP。

节点。前提条件:i. 传输距离远大于道路宽度,每个道路上的车辆进行广播时都能覆盖到整个路宽,即其在道路内的覆盖范围近似为矩形;ii. 网络内不存在物理上的孤立节点和网络分割。

证明:采用反证法证明。假设执行 TDABP 后,广播区域内存在节点 a 未被覆盖。

如图 2 所示,车辆 s 为发送节点。由前提条件 ii 可知,广播区域内不存在物理上的孤立节点和网络分割,即每个节点至少在网络内有一个邻居节点,所以在图 2 中,车辆 a 至少有车辆 b 一个邻节点,此时考虑任意二跳通信,则有:

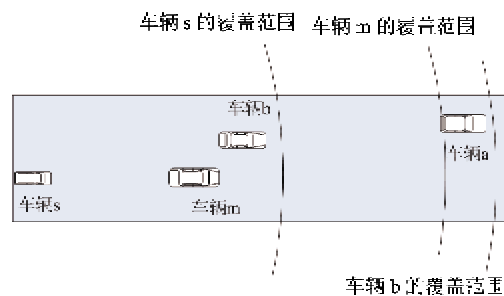


图 2 协议对网络节点的覆盖

3 协议的正确性和有效性分析

TDABP 要以尽量少的转发次数,将一条广播消息传递给目标道路广播区域内的所有车辆。所以本协议首先要保证所有的节点都被覆盖到,其次应保证能有效地减少转发次数,在此对协议的正确性和有效性进行分析。

3.1 协议的正确性分析

定理 1:TDABP 能够覆盖到广播区域内的所有

a) 若节点 a 处于节点 s 的传输范围内,则 a 可直接收到 s 发送的 DP,则 a 可被协议覆盖到,与假设矛盾。

b) 若节点 a 不在转发节点 s 的传输范围内,设车辆 m 为 s 的转发节点,且 m 和 b 都是 s 的邻居节点。车辆 a 未被 m 覆盖,而车辆 b 是 a 的邻居,由前提条件 i 可知,在 VANET 的道路场景中,一跳范围内的 2 个节点,处于信息传播方向下游的节点一定能覆盖到处于其上游节点所覆盖的新节点(此结论

仅适用于 VANET 环境下如前提条件 i 所述的节点呈带状分布的场景,而不适用于传统 MANET 中常见的广阔场景),所以此时至少应有 $\Delta d_{bs} = \Delta d_{ms} + 1$, 即 $\Delta d_{bs} > \Delta d_{ms}$, 按照协议规定,车辆 b 应被选为转发节点,若 b 为转发节点,则其邻居节点 a 一定能被协议覆盖到,与假设矛盾。

因此,TDABP 能够覆盖到 VANET 广播区域内道路上的所有车辆,该协议是正确的。

3.2 协议的有效性分析

定理 2:采用 TDABP 能够以最少的转发次数覆盖到广播区域内的所有节点。

证明:设广播区域内共有 n 辆车,即 VANET 目标区域内有 n 个节点,采用 TDABP 通过 m 次转发可覆盖全部 n 个节点,源节点 s 在目标广播区域内共有 d_s 个邻居, Δd_j 为第 j 个节点相对于其上一跳节点的额外度。可推出 $n = d_s + \sum_{j=1}^m \Delta d_j$ 。由于在协议执行时,每一跳都是按照额外度的贪心算法来选择转发节点。由前提条件 i 可知,在 VANET 的道路场景中,一跳范围内的两个节点,牌信息传播方向下游的节点一定能覆盖到处于其上游节点所覆盖的新节点。所以,对每个转发节点 j ,都有其额外度 Δd_j 最大,即: $\forall j \in (1, m), \exists \text{Max}(\Delta d_j)$ 又由前述假设可知 n 和 d_s 为常数,因此 m 最小,即采用 TDABP 可以获得最小的转发次数。所以本协议在理论上能够用最少次的转发将广播消息传递给 VANET 广播区域内的所有车辆,是有效的。

4 仿真及结果分析

如前所述,设计 TDABP 的目的是在各种密度条件下以最少的转发将紧急信息传输给 VANET 广播区域内的所有节点。应用网络仿真工具 OPNET 对该协议在不同密度下的性能进行了仿真模拟。其中目标广播区域为一条长 1000m 宽 50m 的 4 车道长直公路,通过改变区域内的车辆数量来改变网络密度,在仿真中只考虑单向传播的情况。实际操作中,为检验协议对密度变化的适应情况,取几个典型的节点数进行模拟,如: 50、100、150、200、250、300、350、400、450、500、532 辆,其中的 532 个节点是根据文献[17]所描述的交通阻塞状态所确定,即在交通阻塞状态下每车道每公里有 133 辆车,所以一段 1km 长的 4 车道公路在交通阻塞状态下可容纳 532 辆车。在仿真中还将同时模拟泛洪协议的相关性能

以对比协议的效果。

仿真场景设置如表 2, MAC 层协议采用 IEEE 802.11 协议,信号传输距离为 300m,传输速率为 1Mbps,节点随机分布于广播区域内,如前述假设条件,无孤立节点,即没有任意车辆与其它车辆距离大于 300m。主要考查如下性能指标:

表 2 仿真场景参数

道路长度	1000m
道路宽度	50m
车道数	4
节点数	50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 532
MAC 协议	IEEE 802.11
传输距离	300m
传输速率	1Mbps
包生成速率	1 包/s

• 广播覆盖率(coverage ratio, CR):指 VANET 中某节点广播一个数据包,收到该包的节点占应该接收到该数据包的节点的百分比。该指标能够反映出广播协议的覆盖能力和可靠性。一个好的广播协议应能覆盖到广播区域内的所有节点。

• 端到端时延(end to end delay, EED):指从包生成到节点收到该包的时延。此性能可反映协议的执行效率,同其它延迟类的参数一样,此参数应该越小越优。在仿真实验中该时延主要由 MAC 层的冲突退避机制及本协议设定的 3 个等待时间产生,该指标能在一定程度上反映出密度变化对广播协议的影响。

• 转发比率(forwarding ratio, FR):指广播中参与转发的节点占总节点数的比率。此性能能反映出协议的执行效率,在能够完成广播功能的前提下,转发比率越低,参与广播的节点数就越少,网络负载和开销就越小,在高密度情况下产生冲突的概率也会减小,协议效率高。

• 负载(load):指单位时间内整个网络内的平均数据流量。完成一次广播时所产生的负载越低,则广播协议的效率越高。

图 3 所示为 TDABP 与泛洪(Flood)协议的广播覆盖率的对比。从图中可以看出,采用这两种协议进行 VANET 广播时,在各种密度条件下,其覆盖率都接近 100%,说明两种广播协议在不同密度的交通流中都具有较高的可靠性。在密度比较低时,采用泛洪协议与 TDABP 的广播覆盖率都基本达到

100%。但随着密度的增加,泛洪协议的广播覆盖率有一定的下降。其原因在于随着节点密度的增加,信道竞争和冲突越来越严重,广播风暴现象开始出现,致使一些节点发生传输失败、丢包增加的现象,从而影响了广播覆盖率。而采用 TDABP 时,其转发策略决定了每一跳都只有很少的节点作为转发节点参与转发,有效地避免了多节点同时转发引起的冲突和竞争,所以如图所示,TDABP 的广播覆盖率基本不受节点密度的影响。所以采用 TDABP 进行 VANET 广播能够在交通流变化的场景中保证广播覆盖率,满足上层应用的可靠性需求,确保广播信息能够传递到广播目标区域。

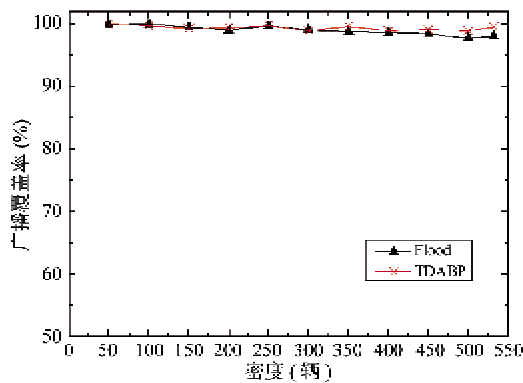


图3 协议广播覆盖率对比

端到端时延是衡量协议通信实时性的一个主要性能指标,能够反应通信协议的实际应用效果。图4中的曲线比较了 TDABP 与泛洪协议在不同密度的 VANET 广播场景中广播包传输到每个节点的平均延迟。由图可见,在交通流密度不大时,泛洪协议由于其策略简单,每个节点收到广播数据即进行转发,处理时延小,而且在低密度情况下,由信道冲突引起的退避耗时也不多,其端到端时延更小。但随着节点密度的增大,泛洪协议逐渐引发广播风暴,

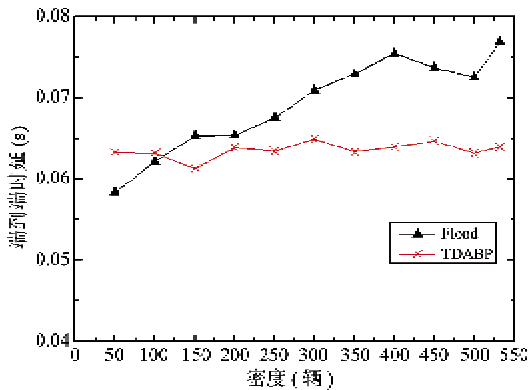


图4 协议的端到端时延对比

由冲突、竞争引起的退避重传所用的时间越来越多,导致其端到端时延随着节点密度的增大明显增加。而 TDABP 的时延在不同的密度下变化较小,其主要时延由进行转发节点选择时的询问、声明等待过程的时间构成,由于有效避免了广播风暴引起的冲突,其在竞争信道时用于退避重传的时间很少,所以其时延受密度增长的影响不大,适用于交通流不断变化的 VANET 广播场景。能够在各种条件下保证广播信息及时传输给广播区域中的节点。

图5显示的是 TDABP 与泛洪协议的转发情况比较。其中柱图表示的是参与转发的节点数,曲线表示的是参与转发的节点占总节点数的比率。在能够满足覆盖率要求的前提下,参与转发的节点越少,即转发比率越小,则协议的执行效率越高。图中带有阴影线的柱图表示的是泛洪协议的转发节点数,可以看出其值基本与密度值相同,这符合泛洪协议的特征,即每个节点都参与转发,所以其转发比率也接近 100%。而实心柱图显示出采用 TDABP 进行广播时其参与转发的节点个数在各个密度条件下变化不大,基本在 4 左右,这也符合该协议的特征,在每一跳中其转发节点为额外度大的节点,而该类节点多数为离上一跳节点距离远的节点,所以,参与转发的节点数量由传输距离和广播目标范围决定,由于密度增大,在特定范围内的节点数增加,所以其转发比率随密度增加而递减。可以看出,在达到同样的广播效果的情况下,采用 TDABP 能够在不同的密度下取得良好的转发效率,适合交通流不断变化的 VANET 广播场景。

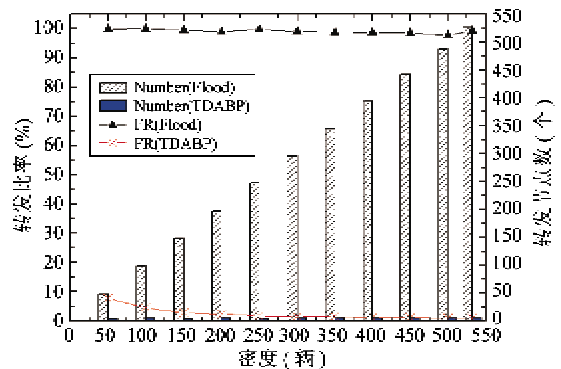


图5 广播转发率比较

图6所示的是协议的网络负载曲线。泛洪协议的特点决定了其负载会随节点的增加而增大,如图中三角形曲线所示,泛洪协议的负载与网络密度成正比,在特定的广播区域内,密度大时其网络负载也

大,因为在泛洪广播中每个收到广播数据的节点都要进行转发,而通信节点过多产生的冲突与竞争会引发更多的重传。而TDABP的负载则在各种密度也都远低于泛洪协议,且其负载随密度增长缓慢,在图中密度最小时TDABP的负载值为21729.55bps,仅为泛洪通信在同密度下负载的10%左右。其原因在于采用TDABP进行数据广播能够有效避免大量转发时产生的冲突,同时,TDABP采用按需通信的模式,有效地减少了额外的网络开销,减小负载。由此可见,采用TDABP进行VANET广播,网络负载较泛洪协议有显著的降低,且受密度影响较小,该协议具有较高的执行效率,能够适用于交通流不断变化的VANET广播环境。

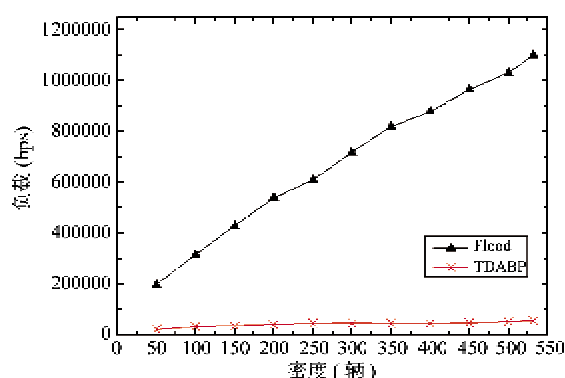


图6 不同协议下网络负载对比

综上所述,通过仿真实验结果可以看出,采用TDABP进行VANET广播,能够取得良好的广播覆盖率和较低的端到端时延,并且不受密度变化的影响。同时本协议有效地降低了转发比率,避免了广播风暴的产生,从而大大降低了整个网络的负载,具有较高的广播效率。所以该协议能够满足交通流密度不断变化场景下的广播需求,具有良好的可扩展性,是一种高效、可靠的VANET广播协议。

5 结论

本文提出的TDABP采用分布式策略,节点不需要掌握整个网络拓扑结构,在转发时仅根据邻节点的覆盖信息进行转发仲裁,选择转发节点。通过这种策略,有效地避免了广播风暴的产生,减小了节点密度变化对协议性能的影响,更适用于节点密度不断变化的VANET环境。同时,TDABP不同于传统的基于邻节点信息的广播协议,该协议采用按需通信的模式,节点并不在本地保存邻节点信息,也不需

要定时交换更新邻节点信息,只在需要进行广播转发时对邻节点进行询问、声明,以此来获得邻节点的覆盖信息,作为进行转发仲裁的依据。这种方法有效地减少了定时更新邻节点信息时所产生的额外通信。理论分析和仿真实验结果表明,TDABP能够在各种密度的交通流场景下保证广播的可靠性,有效降低高密度场景下由广播风暴引起的时延,能够以较少的通信完成对目标广播区域的广播,有效降低了网络负载,具有较高的广播效率。TDABP能够满足各种交通流密度场景下的VANET广播应用需求,适用于交通流密度实时变化的VANET广播环境。

参考文献

- [1] Schnauffer S, Füßler H, Transier M, et al. Vehicular ad hoc networks: single-hop broadcast is not enough. In: Proceedings of the 3rd International Workshop on Intelligent Transportation, Hamburg, Germany, 2006. 49-54
- [2] Wisitpongphan N, Tonguz O K, Parikh J S, et al. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications*, 2007, 14 (6): 84-94
- [3] Durresi M, Durresi A. Emergency broadcast protocol for inter-vehicle communications. In: Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, Fukuoka, Japan, 2005. 402-406
- [4] Yousefi S, Mousavi M S, Fathy M. Vehicular ad hoc networks (VANETs): challenges and perspectives. In: Proceedings of the 6th International Conference on ITS Telecommunications, Chengdu, China, 2006. 761-766
- [5] Füßler H, Schnauffer S, Transier M, et al. Vehicular ad hoc networks: from vision to reality and back. In: Proceedings of the 4th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services, Obergurgl, Austria, 2007. 80-83
- [6] 陈立家, 江昊, 吴静等. 车用自组织网络传输控制研究. *软件学报*, 2007, 18(6): 1477-1490
- [7] Jiang D, Taliwal V, Meier A, et al. Design of 5.9GHz ds-ss-based vehicular safety communication. *IEEE Wireless Communications*, 2006, 13 (5): 36-43
- [8] Xu Q, Mak T, Ko J, et al. Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC. In: Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, Philadelphia, USA, 2004. 19-28
- [9] Farkas K, Ittode L, Heidemann J, et al. Vehicular communication. *Pervasive Computing*, 2006, 5 (4): 55-62
- [10] Tseng Y C, Ni S Y, Shih E Y. Adaptive approaches to

- relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile ad hoc network. *IEEE Transactions on Computers*, 2003, 52(5): 545-556
- [11] Ni S Y, Tseng Y C, Chen Y S. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. *Wireless Networks*, 2002, 8: 153-167
- [12] Tonguz O, Wisitpongphan N, Bai F, et al. Broadcasting in VANET. In: *Proceedings of 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments*, Anchorage, USA, 2007. 7-12
- [13] Peng W, Lu X C. On the reduction of broadcast redundancy in mobile ad hoc networks. In: *Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing*, Boston, USA, 2000. 129-130
- [14] Bononi L, Felice M D. A cross layered MAC and clustering scheme for efficient broadcast in VANET. In: *Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, Pisa, Italy, 2007. 1-8
- [15] ALshaer H, Horlait E. An optimized adaptive broadcast scheme for inter-vehicle communication. In: *Proceedings of 2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference*, Stockholm, Sweden, 2005. 2840-2844
- [16] Artimy M M, Robertson W, Phillips W J. Assignment of dynamic transmission range based on estimation of vehicle density. In: *Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, Cologne, Germany, 2005. 40-48
- [17] Brad W, Tracy C. Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks. In: *Proceedings of the 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing*, Lausanne, Switzerland, 2002. 194-205

A traffic flow density adaptive broadcast protocol for VANETs

Zhou Lianke, Cui Gang, Liu Hongwei, Zuo Decheng

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract

A traffic density adaptive broadcast protocol(TDABP)for vehicular ad hoc networks (VANETs) is proposed to realize their fast, effective broadcasting of safety messages in a traffic environment with the variable traffic flow density to enhance the road traffic safety. The protocol is designed as a distributed scheme to cater with the characteristics of VANET environments, in which it is difficult for every node to master the topologies of whole networks. An on-demand mechanism is employed in exchanging connectivity information between neighbors to get their coverage information. Consequently, the additional overhead for updating neighbor knowledge is reduced and the effects of broadcast storm are relieved efficiently at different density scenarios. The theoretical analysis and simulation experiments show that this protocol can meet the real-time performance and reliability requirements of VANET broadcasting in variable density traffic flow conditions. The protocol gains good scalability and high efficiency.

Key words: ad hoc network, vehicular ad hoc network (VANET), broadcast protocol, node coverage, traffic flow density