

考虑节点交通特性的 VANET 分簇广播协议^①

周连科^② 左德承 崔 刚 刘宏伟

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 结合车用自组织网络(VANET)的道路交通特点,针对车辆节点的交通行为特性,提出了一种适合 VANET 道路交通场景的基于综合加权的分簇广播协议。该协议在簇建立和维护过程中都充分考虑了交通规则和结点运动规律对网络的影响,力求以较小的控制开销形成稳定的分簇网络。并根据交通流理论中车头间距与速度关系模型设计了符合实际的节点移动模型以进行仿真实验。实验结果表明,采用该协议形成的分簇网络结构简单、稳定,控制开销小,同时能够保证广播的可靠性,并有效降低了网络负载,适合多种交通场景下的 VANET 高效广播。

关键词 移动自组网(MANET),车用自组织网络(VANET),广播协议,分簇,交通特性

0 引 言

分层广播是传统移动自组网(mobile ad hoc networks, MANET)常用的一种广播策略,它通过把整个网络划分成若干个簇(cluster)来实现网络中信息的传输。其优点是可扩展性好,网络规模不受限制^[1]。车用自组织网络(vehicular ad hoc networks, VANET)节点规模大,密度变化大,尤其在某些时候车辆跟驶,自然分成簇状,也适合采用分层的方法来进行数据广播。但 VANET 节点速度快,拓扑变化大,链路存在时间短,若采用 MANET 的基于信息交换的方法来维护一个分层网络需要较大的控制开销。一些传统的 MANET 分簇算法一般针对影响分簇结构的连通性、稳定性、负载均衡等因素中的某一个因素来进行设计,其中包括最小 ID 分簇算法^[2,4]、最大度分簇算法^[5,6]和最低移动性分簇算法^[7]等,由于它们只考虑影响分簇的某个因素,故适用性较差。Mainak 等人提出的加权分簇算法(WCA)^[8]采用综合加权的方法,将节点在邻居中的位置、节点的速度、节点的连通度和节点的能耗量化成综合权的分量,通过在邻居中比较节点的综合权来选举簇头节点。WCA 算法兼顾了影响分簇的稳定性、负载均衡、连通性及簇头位置等多种因素,具有较强的适用性和较广泛的应用场景。但该算法为 MANET 设

计,无法满足 VANET 的一些实际要求。如 VANET 以车辆为节点,能源不受限制,所以考虑节点的能耗没有意义。也有研究人员提出了一些针对 VANET 的分簇算法,如文献[9]提出了一种用于 VANET 的跨层分簇广播协议,该协议考虑了分簇网络的稳定性和开销;文献[10]提出了基于多信道的分簇方法,该方法通过采用不同的信道来实现簇的建立及簇内和簇间的通信过程;Santos 等人提出了一种 CBLR 算法来在 VANET 中进行路由^[11-13],该算法通过随机声明来竞争产生簇首,并通过簇首节点存储成员列表的方式实现路由。上述算法虽具针对性,但其 VANET 特征不明显,并没有真正考虑将车辆由于行驶在街道上而具有的道路交通特性对分簇网络协议的影响。本文借鉴了 WCA 算法的综合加权思想,结合道路交通特性和车辆的行驶特性,针对 VANET 信息广播的特点,提出了一种新颖的 VANET 分簇广播协议——车用加权分簇协议(vehicular weighted clustering protocol, VWCP),该协议设计了考虑车辆行驶因素的基于权的分簇方法和簇维护方法,能够在道路上形成稳定的 VANET 分簇网络,大大降低控制开销。

1 考虑节点交通特性的综合加权算法

1.1 WCA

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@fcl.hit.edu.cn
(收稿日期:2010-10-08)

文献[8]提出的 WCA 综合考虑了节点的位置、连通度、移动和能耗,设计了综合权

$$W_o = w_1 \Delta_o + w_2 D_o + w_3 M_o + w_4 P_o \quad (1)$$

用以表示节点充当簇头的适合程度。其中 Δ_o 是节点连通度与理想连通度之差, D_o 是到邻节点的距离之和, M_o 为节点的平均移动速度, P_o 为节点充当簇头的时间。通过执行 WCA, 会选举连通度接近理想连通度, 位置接近邻居中心, 平均移动速度低且已充当簇头时间短的节点来充当簇头。

1.2 VWCP 的簇首选举算法

在设计 VWCP 的簇首选举算法时借鉴了 WCA 的权设计思想, 结合了 VANET 的道路交通应用特点, 将节点交通行为对网络的影响纳入设计中。首先, 在 MANET 中, 节点电源受限, WCA 为防止单个节点电能消耗过大, 将头节点的电能消耗计入权值, 而在 VANET 中节点是行驶的车辆, 电源不受限制, 所以在本协议中不对电源进行考虑; 其次, 在 WCA 工作的 MANET 中, 节点运动是随机的, 且其运动速率慢, 方向不定^[8], 因此, WCA 选择节点平均速度小的节点做簇头比较稳定。而在 VANET 中, 车辆作为节点行驶在交通流中其运动行为有规律可循, 此时簇头节点的移动速度越接近交通流的平均速度簇结构越稳定; 第三, 车辆行驶在道路中其运动行为受到交通规则约束, 进而会对网络结构产生影响。如在一般公路上, 最外侧车道一般为超车车道, 而最内侧车道为慢车道, 中间车道为正常行驶车道, 处于超车车道和慢车道的节点与邻节点间链路保持时间要短于正常行驶车道的车辆, 在簇头选择时应尽量选择处于正常行驶车道内的车辆; 第四, WCA 通过设定理想度来限制簇规模, 以防止簇头过载。在 VANET 信息广播的应用背景下, 为提高广播效率应尽量减少转发次数, 提高分簇的稳定性, 其节簇规模应该尽量大。综上, VWCP 综合考虑了节点的位置、速度、连通和行驶行为, 设计了权计算式

$$W_i = w_1 C_i + w_2 D_i + w_3 V_i + w_4 L_i \quad (2)$$

式中, C_i 为连通度分量, 用于表示节点的连通状况。取 $C_i = |N_i - \delta|$, 其中, N_i 为节点 i 的邻居个数, 即实际连通度, δ 为理想连通度。如前所述, 为使簇规模尽量大, δ 值可按式

$$\delta = 2R_i \times 133 \times m / 1000 \quad (3)$$

计算, 其中 R_i 为节点传输距离, m 为公路的车道数, 133 辆/(车道·km)为文献[14]定义的交通阻塞密度, 即 δ 为交通密度最大时一跳内的节点数。 D_i 为距离分量, 表示节点与邻居节点距离的平均值, 用以

使簇头节点尽量位于簇的中心位置, 用式

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \text{Dist}(i, j) \quad (4)$$

计算, 其中 n 为节点的邻居数, $\text{Dist}(i, j)$ 为节点 i 到节点 j 的距离。 V_i 为综合权的速度分量, 表示节点速度与其邻居平均速度的差值 $|v_i - \bar{v}|$, 其中 v_i 为节点 i 的速度, $\bar{v}$ 为邻节点平均速度, 其值按式

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_j \quad (5)$$

计算。 L_i 为节点 i 的行驶车道分量, 即根据节点行驶规则设计的加权项, 表示节点行驶车道与基准车道号差值 $|l_i - L_s|$, 其中 l_i 为节点所行驶的车道号, L_s 为基准车道号, 此基准车道号在实际中并不存在, 仅为实际车道比照参考参数。通过求 l_i 与 L_s 的差来确定节点处于正常车道的机会大小(如一条 4 车道公路, 则中间 2 车道为正常行驶车道, 则可取 $L_s = 2.5$)。 $w_1 - w_4$ 是每个分量的系数, 用以调节每个分量在综合权值中的比重, 应满足 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ 。

2 VWCP

2.1 假设条件

(1) 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车辆), 而且只考虑沿道路方向传输的广播信息。

(2) 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。

2.2 协议设计目的

分层方法是无线自组网中进行数据广播的一个常用策略, 其主要目的是形成合理的簇结构并对其进行有效的维护。设计本协议旨在结合 VANET 中车辆节点的交通行为特点, 设计适应 VANET 节点密度多变、拓扑多变的环境的分簇算法, 以形成稳定的分层网络, 有效降低控制开销, 提高广播效率。

2.3 VWCP 的基本思想

VWCP 采用了基于综合加权的簇头选举算法构建分簇网络。在簇建立阶段综合考虑节点的位置、速度、连通及其交通行为因素, 力求在拓扑结构变化频繁的 VANET 环境下建立稳定、高效的簇结构。在簇维护阶段则以簇头节点根据车辆节点交通行为特征进行的主动监测取代通过簇头与成员交换信息的方法来监测簇结构, 簇更新只在必要时按需进行, 且更新范围控制在一簇内, 防止产生过多的控制通信。此外, 按协议, 簇头节点不保存成员列表, 只由

成员记录簇头 ID,表示其与这个簇的归属属性,这种完全分布式的分簇,有效降低了簇头用于形成和维护簇而产生的计算和存储开销。协议紧密结合了 VANET 的交通特征,能够在保证广播覆盖率的前提下,尽量减少控制开销,提高广播效率,并能够适应节点密度变化剧烈的交通流环境。

2.4 协议对节点的分类

为形成一个连通的分层广播网络,按照节点在网络中承担的作用,将节点分成以下 3 类:

- 簇头节点。簇头节点是簇的中心节点,在簇建立阶段通过综合加权方法选举产生,负责向簇内节点重广播其收到的广播数据信息,并将簇内节点发出的广播信息转发到全网。同时负责根据节点的交通行为特征监测本节点状态以维护簇结构,在必要时在簇内发起簇头的重选。

- 网关节点。WCA 要求簇头节点采用不同功率进行数据传输,在簇内部使用较小的发射功率,而在簇与簇之间则通过较大功率的通信来实现簇头间的通信^[8]。在 VANET 中,考虑到专用短程通信 (dedicated short-range communications, DSRC)^[15]的要求和网络的临时性、突发性以及节点的非统一特性,应采用标准发射功率,所以节点传输范围一定,可以设置网关节点来连通相邻的簇。网关节点能够同时与 2 个簇头进行通信,负责按要求将一个簇头发出的信息转发给另一个簇头节点。

- 成员节点。即普通节点,此类节点只接收自己簇头发出的广播信息而不进行任何转发操作。

2.5 广播中数据包分类

为完成网络建立和数据广播,VWCP 定义了以下 7 种数据包:

- 广播数据包(BDP)。指承载着实际广播消息内容的数据包,由包头和数据区组成,在包头中定义包 ID、发起节点 ID、上一跳 ID、头 ID 和包生成时间等信息。

- 节点信息交换包(IEP)。用以在发起簇建立和交换节点信息的数据包,内容包括节点的速度、位置、车道号等。

- 簇头声明包(HAP)。节点在认为自己具有较小权值时发此包向其邻居声明自己的权值。收到 HAP 的节点若具有更小的权值也发 HAP 表示异议。

- 头维持包(HMP)。节点在被选举成头节点后发送此包以表明自己为头节点,并在监测自身状态认为自己仍为簇头后定期发送。收到 HMP 的节

点成为该簇的成员。其内容包括头节点 ID。

- 网关维持包(GMP)。节点在成为网关后发送此包以告诉自己邻居自己连接的 2 个簇头中间已有网关。收到 GMP 的节点收到 2 个簇头的 HMP 后也不竞争网关。

- 网关辞职包(GRP)。网关节点无法轮流收到 2 个簇头的 HMP 时,即认为自己不适合再作网关,此时发 GRP 以告诉周围节点可以竞争网关。

- 分布式网关询问包(DGRP)。节点在需要建立分布式网关时发此包以寻找配对网关,其内容包括节点 ID、头 ID。

2.6 VWCP 的执行过程

2.6.1 簇建立过程

簇建立可由任意节点发起,通过在邻节点间发送 IEP 来交换速度、位置、车道等信息计算本节点的综合权,并以此进行簇头选举。在邻居中具有较小综合权的节点为簇首。当节点计算自己的权后认为自己的权较小,则发簇头声明包,每个收到 HAP 的节点从中提取声明包里的权值,并与自己权值进行比较,若自己权值更小,则发 HAP 以表示异议,否则不再发声明包,等待其它节点发 HMP。发出头声明包的节点等待一定时间后未收到异议声明,则发头维持包表示自己是头。收到此 HMP 的节点即为该簇的成员,并记该节点 ID 为自己的头节点。第一个收到 2 个头 HMP 的节点发 GMP 声明自己为网关节点。最终形成如图 1(a)所示的连通的分簇网络。此外,还存在 2 种特殊的情况:如图 1(b)所示,在一轮簇选举结束后,某些节点恰好未被任何簇头覆盖,且其权值大于某些已成为成员的邻节点,则在这些节点间重选簇头。如图 1(c)所示,在一轮选举后形成的 2 个相邻簇头覆盖无重叠区域或其重叠区域内无节点,则采用分布式网关来连接 2 簇。若节点在成为成员一定时间 T_g 后仍未收到任何有效的 GMP 声明,即其周围无网关,则发 DGRP 包寻找配对网关,第一个听到此消息的非同簇节点回应此 GMP 与之形成配对的分布式网关。其中 T_g 用来控制节点的等待时长,以使处于簇头节点覆盖边缘的节点发 DGRP,形成连通的网络。

2.6.2 簇维护

簇维护策略应能保证稳定管理分簇结构,及时更新簇结构以适应网络的变化,保证簇的连通,同时还应尽量减少控制开销,以提高通信效率。在现有的分簇算法中,其簇维护多数通过定期在簇头与成员之间交换节点信息,更新簇头成员列表等策略来

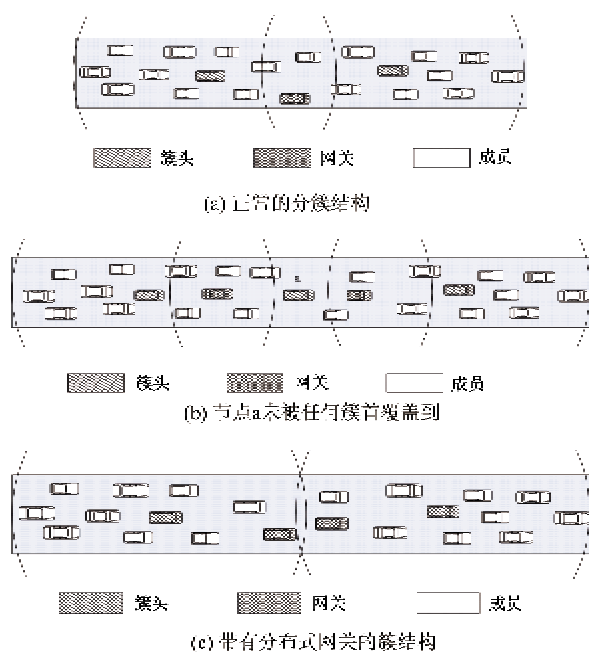


图1 VWCP形成的分簇网络

实现,需要为簇维护付出大量的通信及存储开销。VWCP要求簇头不保存任何成员信息,甚至不知道簇内有哪些成员,仅负责监控自身状态来确定自己是否适合继续做簇头,并定期发HMP来告诉自己的成员自己是簇头。成员节点也只通过监听到的HMP来确定自己属于哪个簇,不需要任何应答机制,大大减少了控制开销。

(1)簇头节点的维护。为减小控制开销,簇头维护不需要与成员进行通信,而是结合VANET节点运动特点,通过实时监测自身状态来决定自己是否继续做簇头,若适合,则发HMP来通知邻节点自己是簇头,若不适合,则在簇内发起簇头重选。根据VANET车辆节点的交通行为特征,簇头主要监测自己的速度变化、车道变换以及与前车距离等指标,若发生车道变换、平均车速与交通流速度差距单调增加或与前车距离单调增加,该节点都不适合继续做簇头。簇头节点维护过程如图2所示。

(2)网关节点的维护。在VANET网络中,由于节点沿公路呈带状分布,并且节点的传输距离远大于路宽,所以网关会交替收到其连接的2个簇头的HMP,若只能收到一个簇头的HMP,则可认为该网关已经与另一个簇头失去联系。在该协议中头节点并不存储网关节点的ID,由网关监测自己是否与簇头连通,若其轮流收到2个簇头的HMP,则发网关维持包,通知自己的邻节点这2个簇之间有网关;若连续收到其中一个簇头的HMP,则发网关辞职包通

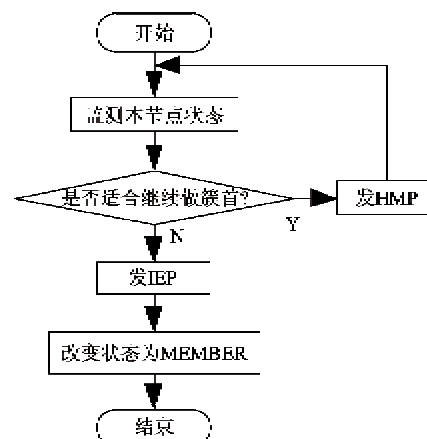


图2 簇头节点的维护

知周围节点这2个簇头之间已无网关,可竞争网关,此时,第一个收到此2簇头HMP的节点声明为网关。过程如图3所示。

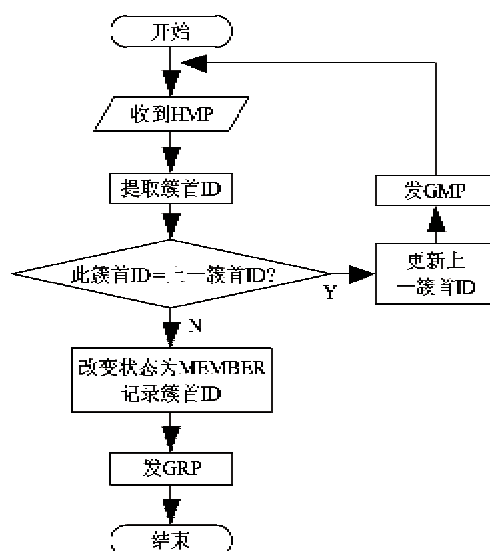


图3 网关的维护

(3)成员节点的维护。在VWCP形成的网络中,头节点不保存成员列表,而由成员保存头节点ID,以证明其属于这个簇。同时成员节点通过监听其簇头的HMP来确定自己与该簇所属关系的存续。如图4所示,当成员从一个簇移入另一个簇的过程中会交替收到2个簇头的HMP,此时先查看自己周围有无网关,若无,则自己声明为网关,否则,待连续收到新簇头的HMP时将自己头ID更新为该簇头,以避免交替更换从属关系。此过程不需要任何通信过程。成员节点在收到网关发出的辞职包后,若交替收到2个簇头的HMP,则声明为网关。若成员一段时间内无法监听到任何HMP,则自己声明为簇

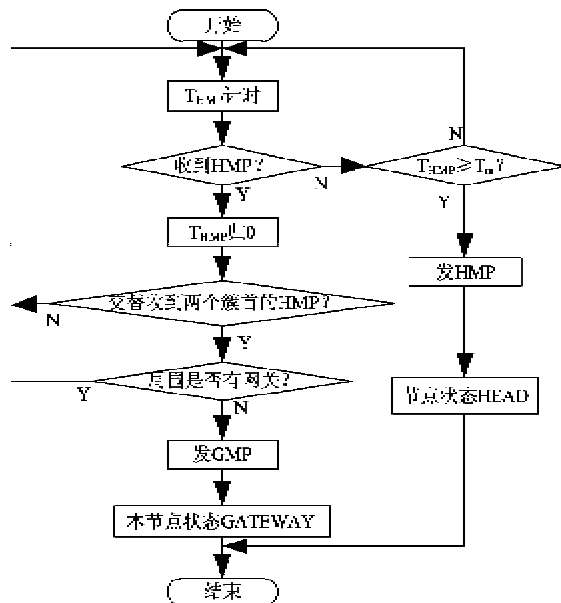


图4 成员的维护

头,发 HMP。

(4)簇合并。若某一簇头节点收到其它簇头节点发的 HMP 包,则证明该 2 簇头互相进入通信覆盖范围,则由该簇头在此 2 簇范围内发起簇头重选,选出新的簇头节点。

2.6.3 VWCP 数据广播过程

发起节点根据上层应用生成数据包,发起数据广播,若发起节点为头节点,则将自己 ID 写入 BDP 的头 ID 域后直接广播;若发起节点为成员节点或网关节点则将其所属的簇头节点 ID 写入 BDP 的头 ID 域后广播。成员节点收到由自己所属簇的簇头发送的数据包则接收并做相应处理,否则直接丢掉;头节点收到 BDP 后判断其头 ID 域是否为自己的 ID,若是则转发,否则丢掉;网关节点收到 BDP 后判断其上一跳节点是否为自己所连接的簇头之一,若是再根据 BDP 中的传播方向决定是否转发,转发时将 BDP 的头 ID 域改成自己连接的另一个簇头 ID 后转发即可(若为分布式网关,则改为其配对网关的 ID)。

3 仿真及结果分析

3.1 移动模型及节点分布

由于 VANET 的节点是行驶于道路交通流中的车辆,节点移动受其它节点影响,分布与移动方式都不同于传统 MANET,一般的移动和分布模型不适用于此场景。根据交通流的相关理论,车流密度和速度能够影响车头间距的分布,在跟驶状态下,车辆的行驶速度受车头间距、车辆长度及驾驶员反应等因素影响。车头间距与速度存在如下关系^[16]:

$$l_t = vt + kv^2 + l_0 + l \quad (6)$$

其中 l_t 为车头间距, v 为行车速度, k 为制动系数,取 $k = \frac{1}{2g\phi}$ (g 为重力加速度, ϕ 为附着系数,一般取 0.3), l_0 为安全距离, l 为车长,此处按文献[14]中的 133 车/(车道·km)计算,取 $l_0 + l = 7.5$, t 为反应时间,取 1.2s。

为检验不同密度下算法的有效性,通过在指定区域内改变车辆数量来改变网络密度,模拟一条长 1000m、宽 50m 的 4 车道长直公路段上取几个典型的节点数进行模拟,如: 50、100、200、300、400、500、532 辆,其中的 532 个节点是根据文献[14]所描述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。取 50 节点时密度小,车距大,速度不受影响,可按自由流处理,所以取各车道速度相同,在密度为 500 和 532 时,为交通阻塞状态,此时车辆没有机会进行超车,也设定各车道速度相同。其它密度场景按密度不同正常行驶车道与超车车道、慢车道车辆数有差异,车辆主要在正常行驶车道行驶。在本场景的 4 条车道中,车道号为 1 的车道为慢车道,车道号为 4 的车道为快车道,中间的 2、3 车道为正常行驶车道。各密度下不同车道的车辆数和速度如表 1。

表 1 不同密度下不同车道的节点数与速度

密度	车道 1		车道 2		车道 3		车道 4	
	节点数	速度	节点数	速度	节点数	速度	节点数	速度
50	12	25.0	13	25.0	13	25.0	12	25.0
100	20	12.7	30	10.9	30	10.9	20	9.0
200	40	7.2	60	4.6	60	4.6	40	4.0
300	70	3.7	80	2.9	80	2.9	70	2.0
400	90	2.6	110	1.14	110	1.14	90	1.0
500	125	0.4	125	0.4	125	0.4	125	0.4
532	133	0.3	133	0.3	133	0.3	133	0.3

3.2 场景设置

协议应能适应各种交通流状况,并能在各种密度条件下将紧急信息传输给 VANET 广播区域内的所有车辆节点。为了检验该协议的性能,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。实验假设所有节点装备 GPS 设备。其中 VANET 的目标广播区域为一条长 1000m 宽 50m 的 4 车道长直公路段,按表 1 所示分布节点,并设置节点移动速度,在仿真中只考虑单向传播的情况。根据式(3)计算得 $\delta = 320$ 。在实验中,以分簇稳定为主要考虑因素,所以取 $w_1 = 0.2, w_2 = 0.2, w_3 = 0.3, w_4 = 0.3$ 。

在仿真中还同时模拟 WCA 的相关性能以对比协议的效果。在 WCA 仿真时,因节点能源不受限制,令其能源分量的系数为 0。此外,由于 WCA 采用了簇头与成员和簇头间不同发射功率的策略,根据节点传输范围 300m 的设置,为保证簇与簇的连通,令成员与簇头的距离小于 150m。同时,对 δ 的取值也按最大密度时最多的节点数取,传输范围按 150m 计算,据式(3)得 $\delta = 160$ 。按式(1)计算综合权,取 $w_1 = 0.2, w_2 = 0.2, w_3 = 0.6, w_4 = 0$ 。

仿真场景参数如下:道路长度为 1000m,宽度为 50m;车道数为 4;节点数为 50, 100, 200, 300, 400, 500, 532。MAC 层协议采用 IEEE802.11 协议,节点通信范围 300m。仿真时间 3min,包生成速率为 1 包/s,在 160s 时收集统计量。

3.3 实验结果及分析

在仿真实验中主要考查如下性能指标:

- 广播覆盖率。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,值越大越好。

- 端到端时延。指从包生成到节点收到该包的时延,此性能能反映出协议的执行效率,同其它延迟类的参数一样,此参数应该越小越优。

- 负载。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。

- 簇头改变次数。指簇形成后发生簇头重选的次数,能够反映出簇的稳定性。

- 分簇数。指分层网络形成后产生的簇的数量,簇数量越少结构越简单,广播效率越高。

- 簇规模。指形成簇后簇内成员的数量,簇规模与分簇数和节点密度有关,同样密度下,簇数量

多,规模小,反之规模大。

- 控制开销。用于建立和维护簇结构而产生的通信包,在形成稳定簇的前提下,控制开销小的协议执行效率高。

- 簇生存时间。簇从建立到重选簇头的时间,簇生存时间越长,分层网络结构越稳定。

图 5 所示为 VWCP 与 WCA 的广播覆盖率的对比。根据假设条件(2),网络内无孤立节点且网络不存在分割,而按上面移动模型规定,在密度为 100、200、300 和 400 时,处于第 4 车道的节点速度大于正常车道,而第 1 车道速度小于正常车道,所以在一定时间后,会有节点成为孤立节点,无法与网络连通,此时将此节点剔除,不计入统计量。从图中可以看出,采用两种协议进行 VANET 广播时,在各种密度条件下,其覆盖率都接近或达到 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。

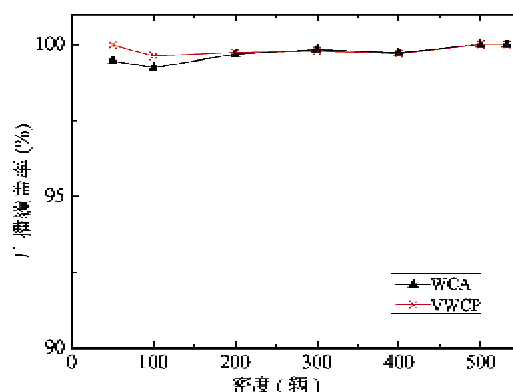


图5 广播覆盖率

端到端时延是衡量协议通信实时性的一个主要性能指标,能够反映通信协议的实际应用效果。图 6 中的曲线比较了 VWCP 与 WCA 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

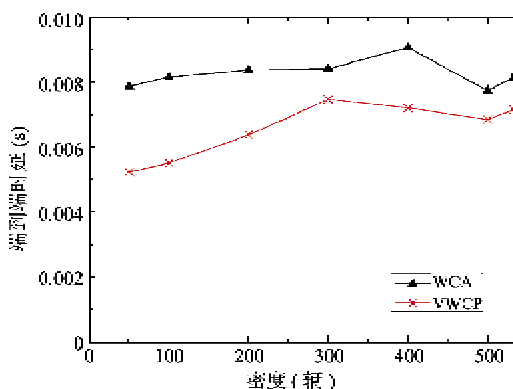


图6 端到端时延

延迟。由于采用分层广播,2 种协议的广播包由源节点到广播区域的每个节点所经历的转发次数都不多,且只有簇头转发广播包,有效地避免了高密度环境下的广播风暴^[17],减少了由退避而产生的时延。WCA 由于形成的簇数量较 VWCP 多,且产生的控制包也较 VWCP 多,所以其端到端时延在各种密度下都较 VWCP 大一些。

图 7 所示的是两种协议的网络负载曲线。可以看出在各个密度上 WCA 的网络负载均高于 VWCP。由于 VWCP 是针对 VANET 专门设计的协议,其权计算考虑了节点的交通特性,更符合 VANET 场景,所生成的簇结构更稳定。另一方面 VWCP 的维护策略采用尽量少的控制通信,也减少了网络负载。尤其是在图中密度为 100、200、300 和 400 时,处于超车车道的节点与正常行驶车道节点速度差异较大,使链路保持时间变短,此时采用 WCA 生成的簇结构稳定性下降,使网络用于簇维护的负载大大增加。在密度为 100、200、300 和 400 时,WCA 的平均分簇数从 6.5 个增长到 10 个,而其控制包数则从 4550 个增长到 18400 个,而在相应密度下的 VWCP 的平均分簇数为 3.5 个,控制包数则稳定在 300 个左右。在密度为 50、500 和 532 时,由于其节点速度一致,而使其负载与 VWCP 相关不多。VWCP 能够较好适应 VANET 节点的运动特征,其负载仅因为节点的增加而随密度有一定的增加。所以 VWCP 能够较好地适应 VANET 的道路交通环境。

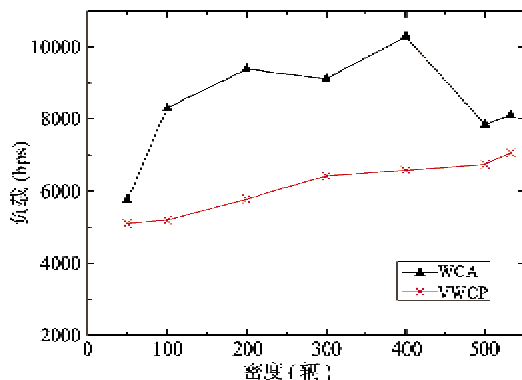


图 7 网络负载

图 8 所示为两种协议下产生簇头改变的次数,图 9 显示的则是两种协议下簇的平均生存时间。这 2 个指标能够反映协议分簇的稳定性。从图中可见,采用 VWCP 生成的分簇网络较为稳定,其簇头基本没有变化,生存时间也基本是整个仿真过程。而采用 WCA 生成的分簇网络则稳定性较差,在节

点密度为 50、500 和 532 时,由于节点速度一致,生成的簇结构比较稳定,其图形与 VWCP 重合;而在其它密度下,由于节点移动速度的不同,使网络稳定性下降,生存时间变短,簇改变次数也大大增加。可见在 VANET 环境下 VWCP 生成簇的稳定性非常好。

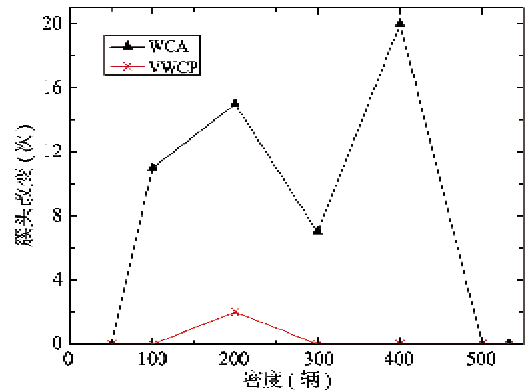


图 8 簇头改变次数

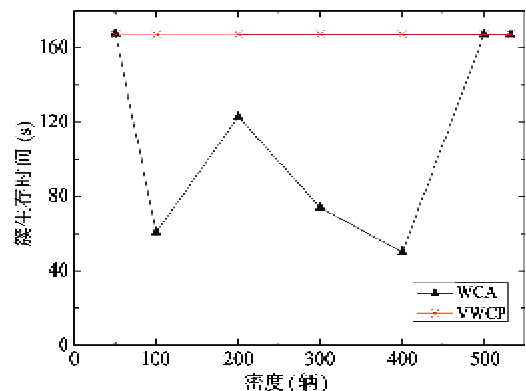


图 9 簇生存时间

图 10 与图 11 显示的是 2 种协议下生成的分层网络簇结构的分簇数与簇规模,在节点一定的情况下,分簇数多,则簇规模小。而在 VANET 数据广播时,分簇数越少,转发过程越简单,网络维护也越简单,广播效率越高。如图 10 所示,VWCP 的分簇数在各种密度下较稳定,为 3.5 个,因为按其 δ 的设计,每个簇都将纳入尽量多的成员,由此在一定范围内生成的簇就只与传输距离相关。而 WCA 由于其在节点速度不一致时的稳定性相对较差,产生的簇也比较多,密度为 100~400 时,随着节点数的增加,分簇数也从 6.5 增加到 10 个。与之相对应,VWCP 的簇规模随节点密度的增加单调增加,而 WCA 因其簇数多,其簇规模较 VWCP 小。

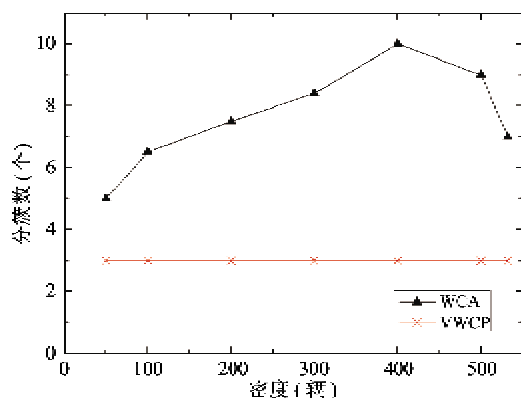


图 10 网络的分簇数

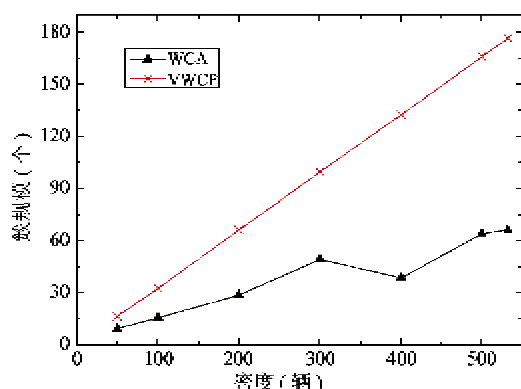


图 11 网络的簇规模

图 12 所示为 2 种协议下产生的控制开销。由图可见, VWCP 由于其维护策略采用尽量少的控制通信, 其控制开销比较低且不随密度增加, 因为 VWCP 在簇维护过程中成员没有任何通信行为, 且生成的簇稳定, 其主要由簇头产生的控制开销也较为稳定。而采用 WCA 形成的网络, 由于其稳定性不如 VWCP, 且在簇维护过程中簇头需要通过成员发的应答包来更新成员列表, 所以其控制开销随节点的增加而增加, 尤其在节点速度不一致时, 分簇结构的稳定性下降, 由此产生的簇重选也生成了大量

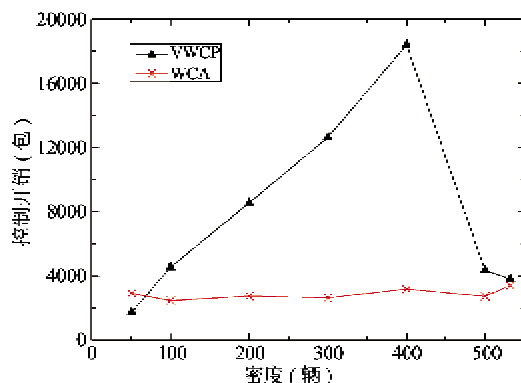


图 12 控制开销

的控制开销。在密度为 400 时, 由于节点多, 加之速度不一致, WCA 的控制开销达到了 VWCP 的 6 倍。而在密度为 50、500 和 532 时, 由于节点速度一致, 2 种协议生成的簇都比较稳定, 维护开销都变小。而在节点密度为 50 时, 由于 WCA 仅有簇头和簇成员, 而 VWCP 在此之外还要选举网关, 且在节点密度小时网络易成如图 1(b) 和图 1(c) 的形式, 所以其控制开销大于 WCA。

4 结论

本文提出一种基于综合权的 VANET 分簇广播协议——VWCP。协议的设计时将 VANET 节点的交通特性纳入考虑, 尽量减少在簇建立和维护过程中产生的控制开销。在计算节点的综合权时, 直接结合 VANET 节点的特点, 将节点的交通行为计入权值的计算中, 以产生适合 VANET 公路交通场景下的稳定分簇结构。在簇维护过程中, 以节点自身交通状态的监测代替日常通信, 从而大大减小了控制开销。在设计仿真实验时, 将交通流理论中关于车头间距与行驶速度关系的相关理论引入移动模型的设计中, 生成了切合实际的场景。实验结果表明, 采用 VWCP 生成的分簇网络, 结构简单, 稳定性好, 控制开销小, 同时具有很高的广播覆盖率, 能够满足 VANET 数据广播的可靠性要求, 具有较低的网络负载。VWCP 能够适应交通状况频繁变化的 VANET 环境, 能够在各种交通流密度条件下满足 VANET 数据广播的需求。

参考文献

- [1] 陈志军, 史杏荣. 一种适合移动自组网的分簇算法. 计算机工程与应用, 2007, 43(29): 159-161
- [2] Baker D J, Ephremides A. The architectural organization of a mobile radio network via a distributed algorithm. *IEEE Transactions on Communication*, 1981, 29(11): 1694-1701
- [3] Wu H, Zhong Z, Hanzo L. A cluster-head selection and update algorithm for ad hoc networks. In: *Proceedings of the 2010 IEEE Global Telecommunications Conference*, Miami, USA, 2010. 1-5
- [4] Cavallaro D, Pantziou G, Konstantopoulos G, et al. Low-latency with adaptive ID reassignment: a novel mobile ad-hoc networks clustering algorithm. In: *Proceedings of the 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, Phuket, Thailand, 2006. 1-5

- [5] Saxena G, Singhal A. Framework towards developing a stability heuristic for cluster computation in MANETs. In: Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, Xiamen, China, 2010. 502-506
- [6] Lin C R, Gerla M. Adaptive clustering for wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1997, 15(7): 1265-1275
- [7] Basu P, Khan N, Little T D C. A mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks. In: Proceedings of the 2001 International Conference on Distributed Computing Systems Workshop, Phoenix, USA, 2001. 413-418
- [8] Chatterjee M, Das S K, Turgut D. WCA: a weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks. *Cluster Computing*, 2002, 5(2): 193-204
- [9] Bononi L, Di Felice M. A cross layered MAC and clustering scheme for efficient broadcast in VANETs. In: Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems, Pisa, Italy, 2007. 1-8
- [10] Su H, Zhang X, Chen H H. Cluster-based DSRC architecture for QoS provisioning over vehicle ad hoc networks. In: Proceedings of the 2006 IEEE Global Telecommunications Conference, San Francisco, USA, 2006. 1-5
- [11] Santos R A, Edwards R M, Edwards A. Cluster-based location routing algorithm for vehicle to vehicle communication. In: Proceedings of the 2004 IEEE Radio and Wireless Conference, Atlanta, USA, 2004. 39-42
- [12] Santos R A, Edwards R M, Seed N L. Using the cluster-based location routing (CBLR) algorithm for exchanging information on a motorway. In: Proceedings of the 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, Stockholm, Sweden, 2002. 212-216
- [13] Santos R A, Edwards R M, Edwards A E, et al. A novel cluster-based location routing algorithm for inter-vehicular communication. In: Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Barcelona, Spain, 2004. 1032-1036
- [14] Artimy M M, Robertson W, Phillips W J. Connectivity in inter-vehicle ad hoc networks. In: Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Niagara Falls, Canada, 2004. 293-298
- [15] Cseh C. Architecture of the dedicated short-range communications (DSRC) protocol. In: Proceedings of the 48th IEEE Vehicular Technology Conference, Ottawa, Canada, 1998. 2095-2099
- [16] 罗霞, 杜进有, 霍娅敏. 车头间距分布规律的研究. *西南交通大学学报*, 2001, 36(2): 113-116
- [17] 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

A node-traffic characteristics considered clustering broadcast protocol for VANETs

Zhou Lianke, Zuo Decheng, Cui Gang, Liu Hongwei

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

Abstract

A combined weighted clustering broadcast protocol is proposed to construct a stable clustering architecture for vehicular ad hoc networks (VANET). The protocol adopts the combined weighted methodology to select the cluster heads. The traffic rules and road traffic characteristics are taken into account to make the architecture more stable and to reduce the additional communication for cluster building and maintaining. A simulation experiment was designed to validate the performances of the protocol, in which a practical mobility model was designed according to the relationship between the space headway and the velocity of vehicles. The result showed that the cluster architecture formed based the proposed protocol was simple and stable, the control overhead was low and the load was reduced efficiently, at the same time the reliability was guaranteed. This protocol can meet the efficient broadcasting requirements of VANET in different conditions.

Key words: mobile ad hoc network (MANET), vehicular ad hoc networks (VANET), broadcast protocol, clustering, traffic characteristics