

# 车载自组织网络基于簇的协作 MAC 协议研究

叶翔 章国安 金喜龙 陈峰

(南通大学电子信息学院 南通 226019)

**摘要** 随着无线通信技术的发展,车载自组织网络(Vehicular Ad Hoc Network, VANET)已经成为一个新型的研究领域。针对 VANET 中车辆行驶的特征以及车辆间安全信息传输严格的时延限制和高可靠性要求,提出了一种基于簇的协作 MAC(CCB-MAC)协议用于安全信息的传输。当在广播期间节点没有接收到安全信息时,被选择的辅助节点重传先前侦听到的安全信息到目的节点,并且重传是在未被预留的时隙中进行的,这将会不会中断正常的传输。数值分析和仿真结果表明,CCB-MAC 明显提高了安全信息传输成功的概率,降低了传输时延和丢包率。

**关键词** 车载自组织网络,媒体接入控制,簇头,簇成员,协作通信

**中图分类号** TN92 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.10.023

## Research on Cooperative Clustering-based MAC Protocol for Vehicular Ad Hoc Network

YE Xiang ZHANG Guo-an JIN Xi-long CHEN Feng

(School of Electronics and Information, Nantong University, Nantong 226019, China)

**Abstract** Owing to the advancement of wireless communication technologies, vehicular Ad Hoc networks (VANETs) have become an emerging field of research. According to the characteristics of VANET and the strict delay constraints and high reliability requirement of safety messages, we presented a cooperative clustering-based MAC (CCB-MAC) protocol for safety messages. In CCB-MAC, the selected helpers relay the safety message to the nodes that have failed in reception during the broadcast period. In addition, cooperation is conducted in idle slots, without interrupting the normal transmission. Both numerical analysis and simulation results show that the proposed protocol improves the probability of successful packet transmission, reduces the transmission delay and packet loss rate significantly.

**Keywords** VANET, MAC, Cluster head, Cluster members, Cooperative communication

## 1 引言

VANET 是移动自组织网络(Mobile Ad hoc Network, MANET)的一种新型应用形态<sup>[1]</sup>。作为智能交通系统的一部分, VANET 正在快速发展,引起了越来越多的汽车厂商的关注。车辆上装有不同的传感器来收集相关信息,并且通过车载通信模块与其他车辆或路边基础设施进行通信,能够应用于高效行车、交通优化和车载娱乐等,是智能交通不可或缺的部分,因此具有极广阔的应用前景和极高的研究价值<sup>[2]</sup>。

交通安全信息传输是 VANET 中一项非常重要的应用,是各类交通安全应用的基本保障,如车辆碰撞预警信息传输、紧急刹车预警信息传输等<sup>[3]</sup>。一般来说,交通安全信息简短且与位置相关,需要及时、准确地传播,以便为后续车辆起到安全预警作用<sup>[4]</sup>。然而,车辆节点高速移动、网络拓扑结构频繁变化以及无线传输的不可靠性等,是 VANET 走向实际应用的共同挑战<sup>[5]</sup>。因此,传统的安全信息传输机制并不能很好地满足交通安全信息传输的要求。针对车载环境设计出一

个高效的安全信息广播机制来满足交通安全信息的传输具有重要意义<sup>[6]</sup>。

VANET 的主体是大量行驶的车辆,虽然车辆行驶速度很快,但是在同一道路上,尤其是在高速公路上,同向行驶的车辆之间速度相差并不大。美国交通部的一项研究表明,高速公路上车辆成簇的概率高达 70%<sup>[7]</sup>,局部车辆成簇能够减少管理开销,提高通信效率。另一方面,协作通信作为未来无线移动网络的关键技术,已经引起了学术界的广泛关注。协作通信在对抗无线信道衰落、减少无线信道损伤、获取分集增益、增强传输的可靠性等方面非常有效<sup>[8]</sup>。为此,本文基于车辆的行驶方向、相对速度等因素,提出了一种 VANET 中基于簇的协作 MAC 协议,以提高安全信息传输的可靠性。簇内通信采用非竞争的 TDMA 机制,通过辅助节点来重传没有到达目的节点的数据包,并且重传是在未被预留的时隙中进行的。协作的引入减少了时隙的浪费,降低了系统时延,提高了数据包传输成功的概率,减少了丢包率。

到稿日期:2016-09-06 返修日期:2016-12-16 本文受国家自然科学基金资助项目(61371113,61401241),江苏省普通高校研究生科研创新计划基金资助项目(KYLX15\_1317, YKC15010)资助。

叶翔(1989—),男,硕士生,主要研究方向为车载 Ad Hoc 网络;章国安(1965—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为车载网、认知无线 Mesh 网络等, E-mail:gzhang@ntu.edu.cn(通信作者);金喜龙(1992—),男,硕士生,主要研究方向为 MAC 协议;陈峰(1993—),男,硕士生,主要研究方向为车载路由协议。

## 2 CCB-MAC

### 2.1 系统模型

该协作机制是在 CBMAC<sup>[9]</sup>的基础上提出的,其帧结构和安全信息传输机制与 CBMAC 协议相同。一个多车道公路上移动的车辆构成一个 VANET。基于行驶方向和相对速度等因素,车辆自主地形成簇。在每一个簇中,一个车辆节点被选为簇头(CH),其他车辆节点为簇成员(CM)。所有的簇成员都能与簇头进行直接通信。簇头负责在簇内收集和广播安全信息。簇头从 6 个服务信道(SCHs)中选择一个信道用于簇内通信,控制信道(CCH)用于簇间通信。被选择的服务信道时间通过 GPS 进行同步<sup>[10]</sup>,并以帧为单位进行分割,每一帧由一个 TDMA 上行期和一个广播下行期构成。另外,TDMA 上行期进一步被划分成固定数目的时隙,记为  $F$ ,簇内的每一个簇成员都有一个时隙接入信道,每个时隙时间间隔恒定。下行期主要用于广播簇头整合的安全和簇管理信息,如图 1 所示( $\varphi$  表示一个空区域)。

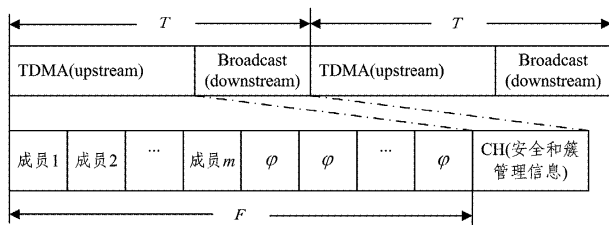


图1 CCB-MAC 帧结构

如果一个簇成员检测到紧急情况,它将立即在自己的时隙中传输一个安全信息给簇头。需要指出的是,即使一个簇成员没有信息传输,它也要传输一个不包含任何数据的数据包,使得簇头和邻近的簇成员知道它的存在。簇头将所有由簇成员收集的安全信息进行整合,并在下行期广播已经整合的安全信息。当一些簇成员没有接收到来自簇头的安全信息时,辅助节点将重传该安全信息到目的节点。

在一个簇内,所有的簇成员具有相同的传送/接收范围  $r$ ,且在传输范围  $r$  内,所有车辆的通信能力都是相同的。然而,簇头的传输范围  $R$  是可调的,它决定了簇的大小。在服务信道中, $R$  等于  $\alpha r$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ 。根据  $\alpha$  值的不同,簇的大小可以自适应道路上车辆密度的大小。在控制信道中, $R \geq 2\alpha r$ ,使得簇头可以与其邻近的簇头进行通信。

### 2.2 簇的形成

簇的范围由簇头在服务信道上的通信半径决定,簇头负责维护本簇所使用的服务信道并告知每个簇成员。网络中车辆节点分为 4 个状态:孤立状态(Isolation Node, IN)、簇头(Cluster Head, CH)、簇成员(Cluster Member, CM)、伪簇成员(Quasi-Cluster Member, QCM)。

簇成员加入(IN→CM):在控制信道,每个 CH 在  $T_i$  期间广播邀请信息。当一个处于 IN 状态的车辆节点驶入某簇时,它首先在  $T_i$  期间监听信道。如果它接收到 CH 广播的邀请信息,则首先检查接收到的信号强度  $p_r$ ,若  $p_r$  大于预定义的阈值  $p_r^{\#}$ ,则表明它和 CH 之间的距离小于  $\alpha r$ ;然后,它向 CH 传输一个加入请求信息,簇头返回一个确认信息,并分配一个 ID 给该车辆。此时,处于 IN 状态的车辆节点加入该簇,且状态由 IN 变为 CM。

新簇形成(IN→CH):若处于 IN 状态的节点没有接收到任何簇信息,表明在它的传输范围内没有任何 CH,则自己变为 CH 状态并成为簇头,同时选择属于该方向且与前后邻簇均不同的 SCH 使用。

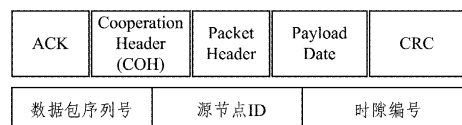
簇成员离开(CM→QCM→IN):状态为 CM 的簇成员节点第一次没有接收到广播信息时,首先变为 QCM 状态。若在其后的  $R$  帧接收到广播信息,它将不执行离开过程;否则,处于 QCM 状态的节点将彻底驶离该簇并变为 IN 状态,它将加入其他簇或者建立一个新簇。QCM 状态的引入有助于避免簇成员频繁进出簇范围或者由于无线链路的不稳定性而引起簇结构的频繁变化。

簇合并(CH→CM):当两个簇头节点进入彼此的簇范围时,拥有较少簇成员的簇将解散,该簇头的簇成员将加入其他簇或者形成新的簇。

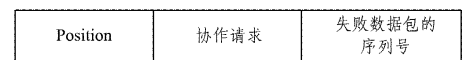
### 2.3 协作的执行

协作机制主要包括 3 个部分:1)识别直接传输失败;2)选择合适的辅助节点;3)重传数据包。这 3 步将在两帧内完成,第一帧识别传输失败,第二帧选择合适的辅助节点并重传数据包。

如图 2(a)所示,ACK 信息中包含:1)源节点的 ID;2)数据包的序列号;3)用于传输该数据包的时隙索引。当簇成员  $i$  从簇头接收到一个广播信息时,它将在该数据包的头部增加一个 ACK 信息,并在下一帧发送该包含 ACK 信息的数据包。无线广播的性质,使得成功接收到数据包的邻近节点也可以侦听到  $i$  发送的数据包,若该数据包中不包含 ACK 信息,则认为节点  $i$  没有接收到 CH 的广播信息。这些邻近节点就是潜在的辅助节点。每个 CM 通过监听所有簇成员发送的数据包中的 ACK 信息,就能知晓其单跳邻域内所有未成功接收数据包的节点,因此每个潜在辅助节点维持一组未成功接收到簇头广播信息的节点。



(a) ACK



(b) COH

图2 CCB-MAC 的一个数据包结构

当直接传输失败时,辅助节点成功接收到重发数据包,若目的节点在辅助节点的传输范围内且存在未被预留的空闲时隙,则辅助节点将执行协作,并在被选定的空闲时隙中执行。当一个潜在的辅助节点决定参与协作时,它将通过数据包中的协作头传输其决定。协作头中包含:1)Position 节点的当前位置,CH 可以通过位置信息来选择不同区域的辅助节点;2)协作请求;3)失败数据包的序列号,如图 2(b)所示。其他潜在的辅助节点接收到该辅助节点已经协助重发该数据包的信息,不再协助重发相同的数据包,如图 3 所示。在该系统中,一个辅助节点可能不能覆盖整个未成功的簇成员的区域。因此,簇头将会从潜在的辅助节点中选择至少两个辅助节点。在辅助节点传输范围重叠区域内的节点将有多次机会接收到重传的数据包。

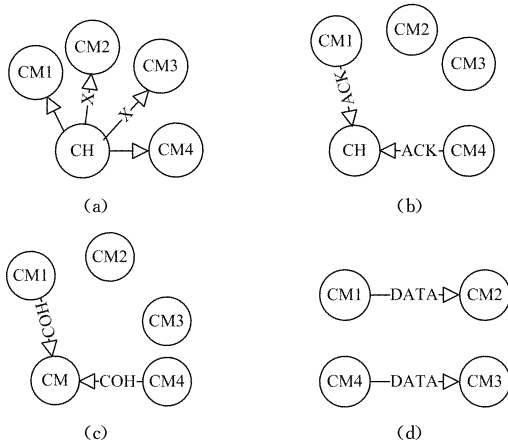


图 3 协作传输过程

### 3 性能分析

基于文献[11],分析所提出的 CCB-MAC 协议的性能,并将其与 CB-MAC 协议的性能作比较。假定网络中的所有簇成员都已经预留了它们的时隙,并且忽略节点之间的相对移动性。簇中数据包传输成功与否仅与信道质量  $p$  有关。

移动车辆按泊松分布分布在车道上。设车辆的平均密度为  $\beta$ (车辆数/m),则长度为  $l$  的公路上有  $i$  辆车的概率为:

$$p(i, l) = \frac{(\beta l)^i e^{-\beta l}}{i!}, i=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

假定随机变量  $N$  表示一簇中节点的数目,簇的直径为  $d, d=2ar$ ,则在一簇内节点数  $N$  等于  $n$  的概率为:

$$pr\{N=n\} = \frac{(\beta d)^n e^{-\beta d}}{n!}, n=0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

当  $N \leq F+1$  时(因为簇头并不会占用上行期的时隙),簇内节点在帧中都能对应一个时隙;当  $N > F+1$  时,最多有  $F$  个节点有对应的时隙。为了获得稳定的 MAC 层性能,  $F$  需要满足以下条件<sup>[12]</sup>:

$$F > 2ar\beta + 1 \quad (3)$$

使得位于  $d$  单位路段内的每一个节点都能获得一个时隙。

#### 3.1 吞吐量分析

网络吞吐量定义为每帧的 TDMA 上行期中能够成功发送数据的时隙数与整个时隙数的比值。

##### 3.1.1 CB-MAC

在  $F$  个时隙中,设随机变量  $U$  表示一帧中未被预留的时隙数目,  $X$  表示成功传输的时隙数目,因此给定  $U=j$ , 有  $0 \leq X \leq F-j$ , 则  $X$  的数学期望和  $U$  的概率密度函数为:

$$e[x|U=j] = (F-j)p \quad (4)$$

$$P\{U=j\} = \begin{cases} 1 - \sum_{i=1}^F \frac{(\beta d)^i e^{-\beta d}}{i!}, & j=0 \\ \frac{(\beta d)^{(F-j+1)} e^{-\beta d}}{(F-j+1)!}, & 0 < j \leq F \end{cases} \quad (5)$$

从式(4)、式(5)得到成功时隙的数学期望  $e[x]$  为:

$$e[x] = p \sum_{j=1}^F (F-j) \frac{(\beta d)^{(F-j+1)} e^{-\beta d}}{(F-j+1)!} + pF \left(1 - \sum_{j=1}^F \frac{(\beta d)^j e^{-\beta d}}{j!}\right) \quad (6)$$

则 CB-MAC 的吞吐量为:

$$E[X] = \frac{e[x]}{F} \quad (7)$$

##### 3.1.2 CCB-MAC

如果簇头到簇成员的直接传输失败,则辅助节点会在一个未被预留的时隙中重传该丢失的数据包。根据簇直径的大小,有如下两种情况。

(1)  $d \leq r$

如图 4 所示,若  $d \leq r$ ,则簇中所有节点都在彼此的传输范围之内。簇中任何一个节点的传输范围都能够覆盖整个簇。根据上文的讨论,如果发生以下情况,协作会被诱发。

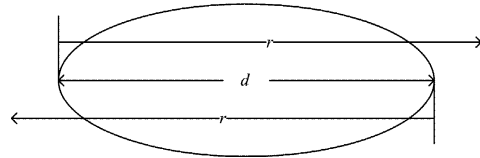


图 4 簇范围相对于传输范围的示例( $d \leq r$ )

E1:至少存在一个潜在的辅助节点。该情况即除了簇头和未成功接收到簇头广播信息的簇成员,至少有一个其他的簇成员。这些辅助节点接收到来自簇头的数据包的概率服从二项分布。在簇内的节点数目  $N_0 = k$ , 如果  $k \leq 2$ , 则潜在的辅助节点不存在。如果  $3 \leq k \leq F+1$ , 则有  $k-2$  个节点可以作为辅助节点。如果  $k \geq F+1$ , 在一帧中仅有  $F-1$  个节点预留了时隙,此刻没有空闲的时隙,则不能执行协作。则事件 E1 发生的概率可以写成如下形式:

$$p\{E1\} = \sum_{k=3}^{F+1} (1 - (1-p)^{k-2}) \frac{(\beta d)^k e^{-\beta d}}{k!} + (1 - (1-p)^{F-1}) \left(1 - \sum_{k=0}^{F+1} \frac{(\beta d)^k e^{-\beta d}}{k!}\right) \quad (8)$$

E2:至少存在一个未被预留的时隙供辅助节点传输。事件 E2 发生的概率为:

$$p\{E2\} = p\{U > 0\} = \sum_{j=1}^F \frac{(\beta d)^j e^{-\beta d}}{j!} \quad (9)$$

这两种情况是相互独立的,因此对于每一次失败的直接传输,执行协作的概率  $p_c$  为:

$$p_c = p\{E1\} p\{E2\} \quad (10)$$

因此,在协作的条件下成功传输的概率  $p^c$  为:

$$p^c = p + p(1-p)p_c \quad (11)$$

(2)  $r < d \leq 2r$

如果  $r < d \leq 2r$ , 一个辅助节点可能不能覆盖整个簇范围。因此,需要超过一个辅助节点和时隙来执行协作。如图 5 所示,簇被分为 3 个区域,区域 1 是两个辅助节点的重叠部分。区域 1, 2, 3 的长度分别为  $2r-d, d-r, d-r$ 。为了执行协作,也要满足两种情况。

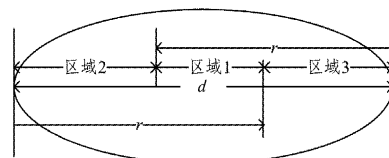


图 5 簇范围相对于传输范围的示例( $r < d \leq 2r$ )

E3:如图 5 所示,潜在的辅助节点可能在区域 1, 2, 3。如果辅助节点在区域 1, 则只要一个辅助节点就能覆盖簇的整个范围;否则,在区域 2 和 3 都要存在一个潜在辅助节点才能覆盖簇的整个范围。

E4:需要未被预留时隙的数目与辅助节点的数目有关。

设  $N_1, N_2, N_3$  分别表示在区域 1, 2, 3 中潜在辅助节点的数目。

(1) 在区域 1 至少存在一个潜在的辅助节点, 则成功重传的概率为:

$$p_1^c = p(1-p)p_{c1}, p_{c1} = p\{N_1 \geq 1\}p\{U \geq 1\} \quad (12)$$

(2) 在区域 2 或者 3 只有一个潜在的辅助节点, 则成功重传的概率为:

$$p_2^c = p(1-p)p_{c2} \quad (13)$$

$$p_{c2} = p\{N_1 = 0\}p\{N_2 \geq 1\}p\{N_3 = 0\}p\{U \geq 1\} \quad (14)$$

或

$$p_3^c = p(1-p)p_{c3} \quad (15)$$

$$p_{c3} = p\{N_1 = 0\}p\{N_2 = 0\}p\{N_3 \geq 1\}p\{U \geq 1\} \quad (16)$$

(3) 在区域 2 和 3 各有一个潜在的辅助节点。另外, 这两个辅助节点的传输范围可能重叠。因此, 在重叠区域, 节点有两次机会接收到失败的数据包, 则重叠区域的平均长度为  $r$ 。设  $\epsilon$  表示在重叠区域内未成功接收的簇成员数目占整个未成功接收成员数目的比率, 则  $\epsilon = r/d$ 。

因此, 在重叠区域的节点成功重传的概率为:

$$p_e = (1-p)[1-(1-p)^2]p_{c4} \quad (17)$$

从而成功重传的整体概率为:

$$p_4^c = (1-\epsilon)(1-p)p_{c4} + \epsilon(1-p)[1-(1-p)^2]p_{c4} \quad (18)$$

$$p_{c4} = p\{N_1 = 0\}p\{N_2 \geq 1\}p\{N_3 \geq 1\}p\{U \geq 2\} \quad (19)$$

在区域 1, 2, 3 的节点数目同样遵循泊松分布。区域 1, 2, 3 的长度分别为  $2r-d, d-r, d-r$ , 从而根据式(8)、式(9)能够得到  $p_{c1}, p_{c2}, p_{c3}, p_{c4}$ 。因此, 在协作条件下成功传输的概率为:

$$p^c = p + p_1^c + p_2^c + p_3^c + p_4^c \quad (20)$$

通过协作, 成功时隙的数学期望由式(6)变为:

$$e[x_c] = p^c \sum_{j=1}^F (F-j) \frac{(\beta d)^{(F-j+1)} e^{-\beta d}}{(F-j+1)!} + p^c F \left(1 - \sum_{j=1}^F \frac{(\beta d)^j e^{-\beta d}}{j!}\right) \quad (21)$$

则 CCB-MAC 的吞吐量为:

$$E[X_c] = \frac{e[x_c]}{F} \quad (22)$$

### 3.2 数据包传输延迟

一旦传输失败, 簇头将重传数据包, 直到簇成员成功接收到数据包。这里, 数据包传输延迟 (PTD) 定义为成功传输一个数据包给所有的簇成员需要的帧数目。设随机变量  $M$  和  $M_c$  分别表示 CB-MAC 和 CCB-MAC 的 PTD。则  $M$  的概率密度函数为:

$$\text{pr}\{M=i\} = (1-p)^{i-1} p, i=1, 2, 3, \dots \quad (23)$$

类似地,  $M_c$  的概率密度函数为:

$$\text{pr}\{M_c=i\} = (1-p^c)^{i-1} p^c, i=1, 2, 3, \dots \quad (24)$$

因此,  $M$  和  $M_c$  的数学期望为:

$$E[M] = 1/p \quad (25)$$

$$E[M_c] = 1/p^c$$

### 3.3 丢包率

在通信系统中, 若簇头没有在预定义的时间限制内将数据包传输到目的节点, 它将会把该数据包从缓存中丢弃。此处用帧的数目来表示该时间限制。设  $M_{\max}$  表示簇头尝试传输一个数据包的最大帧数目, 即最大的传输时间限制。因此,

对于一个给定的  $M_{\max}$ , CB-MAC 的丢包率 (PDR) 为:

$$PDR = 1 - \sum_{i=1}^{M_{\max}} (1-p)^{i-1} p \quad (26)$$

类似地, CCB-MAC 的丢包率为:

$$PDR_c = 1 - \sum_{i=1}^{M_{\max}} (1-p^c)^{i-1} p^c \quad (27)$$

## 4 仿真实验与分析

利用 MATLAB 仿真软件对两种协议的性能指标进行数值比较。假设一条路设置为两个车道, 两个车道上的车辆密度保持相等, 用  $p$  值的变化来表示不同的通信信道质量。在不同的情景下, 对 CB-MAC 和 CCB-MAC 的吞吐量、数据包延迟和丢包率进行比较。

图 6 和图 7 比较了 CB-MAC 和 CCB-MAC 这两种协议的网络吞吐量。从图中可以看出, 相对于 CB-MAC, CCB-MAC 能显著提高数据包传输成功的概率, 继而提高网络吞吐量。在两个极端条件下 ( $p=0$  和  $p=1$ ), 这两种协议表现出相同的预期。 $p=0$  时, 由于信道错误, 所有传输都失败;  $p=1$  时, 信道质量极好, 所有直接传输都成功, 没有必要协作。当  $p$  从 0 开始增加时, 协作的优势逐渐显现。

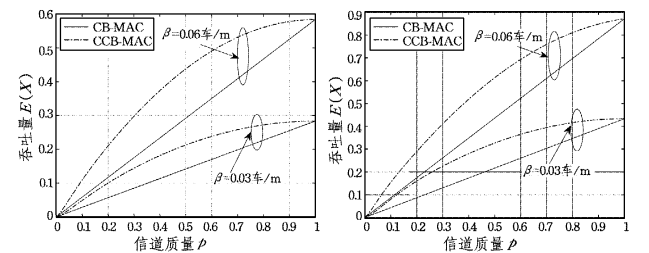


图 6  $F=60, r=300\text{m}$  时, 在不同的车辆密度下比较两种协议的网络吞吐量

图 6 (a)  $d \leq r$  (取值  $d=r$ ) 时, 两种协议的吞吐量 (b)  $r < d \leq r$  (取值  $d=1.5r$ ) 时, 两种协议的吞吐量

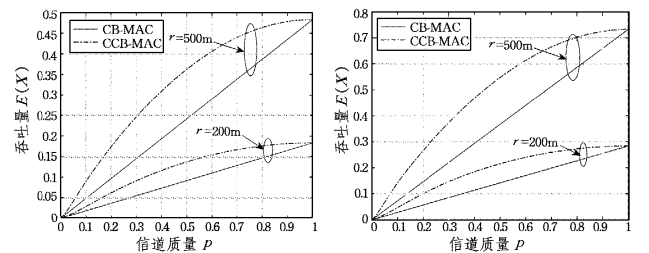


图 7  $F=60, \beta=0.03$  车/m 时, 在不同的车辆密度下比较两种协议的网络吞吐量

图 7 (a)  $d \leq r$  (取值  $d=r$ ) 时, 两种协议的吞吐量 (b)  $r < d \leq r$  (取值  $d=1.5r$ ) 时, 两种协议的吞吐量

图 6 反映了在  $F$  和一跳传输范围固定时, 车辆密度越大, 则簇内潜在的辅助节点越多, 能够协作发送数据的节点越多, CCB-MAC 的数据发送成功率越大, 从而成功传输的时隙数也越多。类似地, 当  $F$  和车辆密度固定时, 一跳传输范围越大, 簇内潜在的辅助节点越多, 从而具有较高的时隙利用率, 如图 7 所示。从图 6 和图 7 中还可以看出, 在相同的条件下, 簇直径越大, 吞吐量也越大。这主要有两方面原因: 1)  $d$  越大, 簇内潜在的辅助节点也越多; 2) 未成功节点接收到失败数据包的机率增大。当  $d$  较小时, 一个辅助节点就能覆盖整

个簇范围;当  $d > r$  时,CH 可能需要选择两个辅助节点。因此,对于未成功的节点,它将有两次机会接收数据包。

图 8—图 10 比较了 CB-MAC 和 CCB-MAC 这两种协议的数据包延迟和丢包率。本文只考虑  $d=r$  的情况, $F(60)$  和车辆密度(0.01 车/m)固定。可以看出,相对于 CB-MAC,CCB-MAC 能显著降低数据包延迟和丢包率。

图 8 描绘了在不同的一跳传输范围内两种协议的数据包传输延迟比较。引入协作提升了每一帧成功传输数据包的概率,并且  $r$  越大,簇内潜在的辅助节点越多,从而降低了数据包传输的延迟。

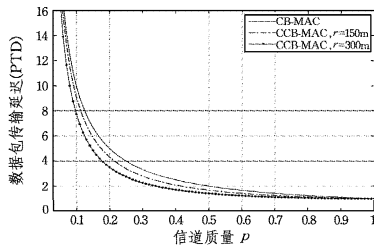


图 8 两种协议的数据包传输延迟

图 9 和图 10 比较了不同  $M_{\max}$  下的两种协议丢包率的性能。CCB-MAC 的丢包率始终小于 CB-MAC。在 CCB-MAC 中,一旦传输失败,辅助节点将会在未被预留的时隙中重传该数据包。对于较大的  $M_{\max}$ ,CCB-MAC 比 CB-MAC 拥有更多的重传机会,也就提升了数据包传输成功的概率,以防止其在缓存中被丢弃,从而降低了丢包率。

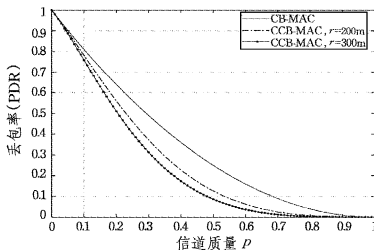


图 9  $M_{\max}=2$  的条件下两种协议的丢包率

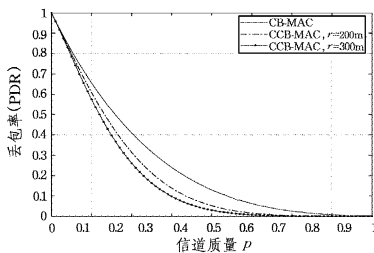


图 10  $M_{\max}=4$  的条件下两种协议的丢包率

**结束语** 本文针对 VANET 中车辆行驶的特征提出了一种基于簇的协作 MAC 协议。当簇成员没有成功接收到簇头的广播信息时,其邻近的辅助节点重发安全信息到目的节点,不必等待下一帧的对应时隙重新接收数据,并且协作的执行是在未被预留的时隙中进行的,不会中断其他节点的正常传输,提高了数据发送成功的概率,降低了安全信息传输的延迟和丢包率。特别对于安全信息的传输,这种协作的方式是非常有必要的,即使在信道质量很差时,该协作方式也能获得较好的性能。仿真结果表明,所提的协议能够显著提高网络的吞吐量,降低网络延迟和丢包率。

## 参考文献

- [1] ZHANG X F, ZHANG G A, JI Y C. Research on Cooperative Transmission Based on Cross-Layer Routing Design in VANET [J]. Video Engineering, 2014, 38(15): 140-143. (in Chinese) 张雪飞, 章国安, 季彦呈. VANET 中基于跨层路由设计的协作通信研究[J]. 电视技术, 2014, 38(15): 140-143.
- [2] HE P, YAN B P, LI Z. CM-MAC: A Cluster-Based Multi-Channel MAC Protocol for VANET [J]. Journal of Computer Research and Development, 2014, 51(3): 502-510. (in Chinese) 何鹏, 阎保平, 李志. CM-MAC: 一种基于分簇的多信道车载网 MAC 协议[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(3): 502-510.
- [3] WANG W J, LUO T. The minimum delay relay optimization based on nakagami distribution for safety message broadcasting in urban VANET [C]// Wireless Communication & Networking Conference. 2016: 1-6.
- [4] ZHANG X F, ZHANG G A, JI Y C. Detection Algorithm of Alarm Messages Based on Linear Cooperative Strategy in VAENT [J]. Telecommunications Science, 2014, 30(5): 120-125. (in Chinese) 张雪飞, 章国安, 季彦呈. VANET 中基于线性协作策略的预警信息检测算法[J]. 电信科学, 2014, 30(5): 120-125.
- [5] JIN Y H. Research on Media Access Control Protocol of Vehicular Ad Hoc Network [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2010. (in Chinese) 金艳华. 车载无线自组织网 MAC 协议研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
- [6] LI S. Research on Vehicular Ad Hoc Network MAC Mechanism for Traffic safety messages [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2012. (in Chinese) 李帅. 面向交通信息安全传输的车联网 MAC 机制研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [7] HALL R, CHIN C. Vehicle sorting for platoon formation: Impacts on highway entry and throughput; UCB-ITS-PRR-2002-7 [R]. Los Angeles: Hangzhou Dianzi, 2002.
- [8] ZHANG Y. The Research of Relay Selection and Power Allocation of Cooperative Communication [D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2013. (in Chinese) 张玉. 协作通信中关于中继选择和功率分配的研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2013.
- [9] HANG S, XI Z. Clustering-based multichannel MAC protocols for QoS provisioning over vehicular ad hoc networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(6): 3309-3323.
- [10] DING W, WANG J, LI Y. Time synchronization error and calibration in integrated GPS/INS systems [J]. ETRI Journal, 2008, 30(1): 59-67.
- [11] YE X, ZHANG G A, CHENG D Y. Research on cooperative MAC protocol for Vehicular Ad Hoc Network [J]. Computer Science, 2015, 42(11): 174-177. (in Chinese) 叶翔, 章国安, 程黛月. 车载自组织网络协作 MAC 协议研究[J]. 计算机科学, 2015, 42(11): 174-177.
- [12] BHARATI S, BAI F, ZHUANG W H. Effects of time slot reservation in cooperative Ad Hoc MAC for vehicular networks [C]// 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC). 2013: 6371-6375.